

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'EFFET DE DEUX MÉTHODES D'ENTRAÎNEMENT, LA PLIOMÉTRIE ET LA
MUSCULATION, SUR L'ÉCONOMIE À LA COURSE ET SUR
L'EXPLOSIVITÉ CHEZ LES JOUEURS DE SOCCER

MÉMOIRE PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

SOFIANE HAMDI

SEPTEMBRE 2011

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Dr. Alain-Steve comtois, professeur à l'université du Québec à Montréal, pour toute son expertise, sa patience, et son professionnalisme. Le Dr. Jean Boucher et tous les membres du département de kinanthropologie.

Un remerciement spécial pour Athanasio Destounis pour son amitié et son soutien dans les différentes étapes de l'élaboration de ce projet, ainsi que pour mes amis Gabriel Borduas et Abdelkrim Kobbi.

J'aimerais encore remercier le staff technique de l'équipe universitaire de soccer de l'UQAM pour permettre à leurs athlètes de s'impliquer dans notre étude comme sujets.

Finalement, je remercie toute ma famille pour leur support et leur amour.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique.....	2
1.2 Hypothèse.....	3
1.3 Importance.....	3
CHAPITRE II.....	4
REVUE DE LITTÉRATURE.....	4
2.1 Introduction.....	4
2.2 La pliometrie.....	5
2.2.1 Énervation et contrôle moteur.....	7
2.2.2 Énergie élastique musculaire	8
2.3 L'Évaluation de la condition physique au soccer.....	10
2.3.1 Teste de Laboratoire.....	19
2.3.2 Teste de terrain.....	22
2.4 Endurance et soccer.....	29
2.4.1 Économie à la course.....	34
2.5 La force au soccer.....	38
CHAPITRE III.....	41
MÉTHODOLOGIE.....	41
Introduction.....	41
3.2 Les sujets	41
3.3 Critères d'inclusion	42

3.4 Critères d'exclusion	42
3.5 Aspects déontologiques et consentement.....	42
3.6 Le schéma expérimental.....	43
3.7 Mesures des variables dépendantes	43
3.7.1 Déroulement de l'évaluation de la VMA.....	43
3.7.2 Test sous maximal.....	44
3.7.3 Test d'explosivité.....	45
3.7.3.1 Test de détente verticale.....	45
3.7.3.2 Test de vitesse.....	46
3.7.4 Test maximal de terrain.....	46
3.7.4.1 Yoyo intermittent test.....	46
3.7.4.2 Déroulement du test yoyo intermittent test 2.....	48
3.8 Entraînement de pliométrie	49
3.8.1 Le programme de pliométrie.....	50
3.8.2 Le programme de musculation.....	50
3.9 Qualification et analyse.....	52
CHAPITRE IV	53
RÉSULTAT.....	53
4.1 La détente verticale.....	54
4.2 La vitesse.....	56
4.2.1 La vitesse sur 10m.....	56
4.2.2 La vitesse sur 20m.....	57
4.3 La Lactatémie sanguine.....	57
4.4 Le yoyo intermittent test 2.....	57
4.5 La consommation d'oxygène.....	58
CHAPITRE V.....	59
DISCUSSION.....	59

5.1 Discussion.....	59
5.2 Limites.....	63
5.3 Conclusion.....	63
BIBLIOGRAPHIE.....	65

LISTE DES ACRONYMES

Liste des acronymes

(C)	Groupe contrôle
CMJ	Saut de contre-mouvement
(E)	Groupe expérimentale
K4B2	Chariot métabolique portable (The Cosmed K4b2 Analyzer)
Musc	Groupe musculation
MTC	Le complexe musculo-tendineux
Plio	Groupe pliométrie
RE	Économie à la course
SEC	La composante élastique en séries
SJ	Squat jump
VMA	Vitesse maximale aérobie
Yo-yo IRI	Yo-yo intermittent recovery 1
Yo-yo IR2	Yo-yo intermittent recovery 2
YYIRT	Yo-yo intermittent recovery test

LISTE DES FIGURES

Figures	pages
2.1 Représentation schématique du HMRAT10m.Theophilos, 2007.....	16
2.2 Le test spécifique de Hoff, circuit de conduite de balle, pour la mesure de la Vo2 ma.....	17
2.3 Le test de Bangsbo (1992).....	19
2.4 Le test de Bangsbo de vitesse (Bangsbo sprint test).....	20
2.5 Test de vitesse intermittente. Test of sprint ability (Gabbet 2010)	21
2.6 Test d'agilité de Thomas, 2005.....	22
3.1 Représentation schématique du test maximal fait avec un joueur de soccer universitaire.....	38
3.2 Représentation schématique du test sous-maximal fait avec un joueur de soccer universitaire	39
3.3 Schéma présentatif du Yoyo intermittent test.....	41
3.4 Protocol du yoyo intermittent test.....	42
3.5 Représentation schématique du yoyo intermittent test. Krstrup et al, 2003.....	43
3.6 Représentation schématique du protocoles des tests yoyo intermittent test 1 et 2. Krstrup et al (2003).....	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	pages
1. Caractéristiques physiques des participants (moyennes et écart types).....	36
2. Programme d'entraînement de pliométrie de six semaines.....	44
3. Entraînement de musculation. Walsh et al, 2003 (modifié).....	45
4. Les variables dépendantes pré et post intervention	47

RÉSUMÉ

Le but de cette étude était de vérifier l'impact de deux programmes spécifiques d'entraînement de la force, la pliométrie et la musculation, sur l'amélioration de l'économie à la course et sur l'explosivité chez les joueurs de soccer à la période de compétition. À cet égard, 12 sujets adultes, âgés en moyenne de $22,25 \pm 2,65$ ont été invités à participer à l'étude. Ils étaient répartis aléatoirement en deux groupes de 6 joueurs. Au cours de l'étude 4 joueurs, deux de chaque groupe, ont abandonné due à la contraction de blessures pendant les matchs du championnat universitaire. Pour nos analyses, nous avons pris seulement les résultats des 8 joueurs qui ont passé toutes les étapes de l'étude. Le premier groupe était soumis à un entraînement de pliométrie, le deuxième groupe a subi un entraînement sur des appareils de musculation classiques. Chaque groupe s'est entraîné 2 fois par semaine à raison de deux heures par séance pour une période de 6 semaines. Afin de déterminer l'effet de chacune des deux conditions d'entraînement, nous avons mesuré la VO_2 à 90% de la VMA, sur un tapis roulant, pendant 4 minutes et nous avons pris le volume d'oxygène consommé pendant la dernière minute comme référence à l'économie à la course. L'explosivité a été mesurée par deux tests de détente verticale, le SJ et le CMJ en utilisant le myotest. Les variables présentées sont la hauteur du saut en cm, la vitesse en cm/s, la puissance en w/kg et la force en N/kg. Également nous avons mesuré la vitesse de déplacement par le test de sprint sur 10 et 20 mètres. La qualité de course à haute intensité intermittente a été mesurée par le yoyo intermittent test 2 (YYIRT2). La lactatémie était mesurée après une minute du test sous maximal. Ces tests étaient faits une semaine avant l'étude et une semaine après.

Pour la quantification et l'analyse des données, un modèle groupes (témoin vs expérimental) par tests avec mesures répétées sur les tests, c'est-à-dire un modèle factoriel avec blocs réduits (Kirk, 1992) fut appliqué afin de soulever les différences significatives entre le groupe témoin et le groupe expérimental.

Les résultats ne montrent aucune différence significative pour les deux groupes (PRE vs POST), et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation). La détente verticale, SJ ($F=0.937$, $p=0.370$) pour les deux groupes (PRE SJ vs POST SJ) et entre les deux groupes, POST Pliométrie vs POST musculation ($F=0.022$, $p=0.888$). CMJ ($F=0.00$, $p=0.994$) pour les deux groupes et ($F=0.856$, $p=0.391$) entre les deux groupes, POST Pliométrie vs POST musculation. La vitesse sur 10 m, entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.98$, $p=0.765$) et pour les deux groupes de même ($F=0.295$, $p=0.606$). Pour la vitesse sur 20 m ($F=1.752$, $p=0.234$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation) et entre les deux groupes ($F=0.34$, $p=0.860$). Concernant la lactatémie, pour les deux groupes (pliométrie vs musculation) ($F=0.028$, $p=0.872$) et entre les deux groupes, POST Pliométrie vs POST musculation ($F=0.316$, $p=0.594$). Les valeurs du yoyo test post entraînement (POST) atteintes n'étaient pas significativement élevées ($F=13.112$, $p=0.011$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation) et ni entre les deux groupes ($F=0.565$, $p=0.481$). Les valeurs post entraînement (POST) atteintes de la VO_2 étaient significativement plus élevées ($F=12.590$, $p=0.012$) pour les deux groupes et non pas entre les deux groupes ($F=0.584$, $p=0.474$).

Les résultats obtenus suggèrent d'éviter de faire un programme de renforcement musculaire intense à la période de la compétition chez les joueurs de soccer. Et cela en regardant les exigences physiques de la discipline afin d'éviter l'effet de la fatigue sur les résultats recueillis.

Mots clés ; pliométrie, musculation, économie à la course, explosivité, soccer

CHAPITRE I

Introduction

Sur les deux décennies passées, le soccer a apparu comme le sport le plus populaire dans le monde avec une augmentation significative de participation. Hommes, femmes et enfants, avec différents niveaux d'expertise, pratiquent cette activité. Une enquête faite par la Fédération internationale des associations de football (FIFA) en 2006 a montré qu'autour de 4 % de la population mondiale sont directement impliqués soit comme, joueurs (265 millions), arbitres ou fonctionnaires (Althoff, 2010). Au Canada le nombre de pratiquants de cette activité est en croissance continue, le nombre d'affiliations à l'association canadienne de soccer a grimpé de 789 289 joueurs et joueuses en 2002 à 900 000 en 2009 et ce chiffre tente à augmenter pour atteindre le 1.000 000 en 2013. L'expansion de ce phénomène dans les quatre coins du globe a attiré les regards des spécialistes dans les différents domaines, scientifique, économique, politique que sociale. Économiquement parlant, les dernières études révèlent qu'aujourd'hui, le soccer professionnel est l'un des plus grande marché d'investissement. En Angleterre, des droits de diffusion pendant 4 ans ont été vendus pour 1 milliard de \$ US, approximativement. Un contrat de sponsor annuel typique sur une équipe européenne professionnelle est estimé à 6 millions de \$ US. Le salaire moyen annuel du joueur de haut niveau est de 6 Million \$ US. Autrement dit, l'activité de soccer devient l'industrie majeure d'amusement (Économiste, 1997). En termes de science, le soccer a fait l'objet de plusieurs recherches. Les spécialistes ont mené leurs études de différents angles que ce soit sur terrain ou en dehors. Ils ont étudié la performance au cour des matchs et aux entraînements (Stolen et al, 2005 ; Bangsbo et al, 2006). Avec l'évolution des pratiques suite aux nouvelles méthodes d'entraînement, la science a été incorporée à une mesure plus grande dans la planification et l'exécution des entraînements (Bangsbo, 2006). Des études scientifiques se sont concentrées sur les demandes physiologiques du jeu, par exemple en faisant des mesures physiologiques avant et après le match ou à la mi-temps (Hoff, 2005). Comme un supplément à tel informations, quelques études récentes ont examiné des changements tant dans la performance que dans les réponses physiologiques partout dans le jeu avec un centre spécial

sur les activités les plus exigeantes et les périodes du match (Bloomfield, 2007). La nouvelle technologie a permis l'étude des changements de la performance au cours du jeu que ce soit aux matchs qu'aux entraînements. Barros (2007) a étudié la performance de 55 footballeurs brésiliens de la première division en analysant leur distance parcourue au cours du jeu en utilisant, comme moyen de mesure, un Système de traçabilité automatique (DVideo, Campinas, Brazil). Dans le même contexte, Rampinini (2007) a utilisé un système d'analyse par reconnaissance d'image, (ProZone ®, Leeds, UK), afin de valider des tests de terrain comme indicateurs de performance physique des joueurs au cours des matchs.

Le soccer est un sport complexe et la performance dépend de plusieurs facteurs, tels que les facteurs psychologiques, la technique des joueurs, la tactique de l'équipe et la forme physique. Dans notre étude, nous cherchons à améliorer ce dernier aspect par l'amélioration du rendement des joueurs de soccer par le biais d'un entraînement de pliométrie, et ce, par l'amélioration de l'économie de course et de l'explosivité des joueurs.

1.1. Problématique :

La capacité du joueur à maintenir une course à une intensité sous-maximale est faible et ainsi beaucoup de duels sont perdus. De plus, les joueurs couvrent peu de distance et sont limités dans leurs capacités à répéter des courses à une haute intensité.

1.2. Hypothèse :

L'entraînement en pliométrie et l'entraînement en musculation vont améliorer l'économie à la course et l'explosivité chez les joueurs de soccer.

1.3 Importance de l'étude :

Cette étude se justifie par la place de plus en plus importante que prend le soccer dans la société québécoise ainsi que canadienne.

Par nos résultats, nous essayons d'introduire de nouvelles méthodes d'entraînement au soccer ce qui peut aider au développement des jeunes entraîneurs Québécois ainsi que les jeunes pratiquants. Scientifiquement nous voulons améliorer le rendement des joueurs ; Ils feront plus d'efforts intenses tout au long du match avec moins de dépenses énergétique. Ils pourront couvrir plus de terrain, auront une meilleure endurance et donc une meilleure performance.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTERATURE :

2.1 Introduction

Comme tout autre sport, le soccer n'est pas une science, mais la science peut aider à améliorer la performance des joueurs (Stølen, 2005). Les qualités techniques, tactiques et psychologiques des joueurs sont dépendantes de leurs capacités physiques. Le soccer est une activité qui implique autant des actions aérobiques qu'anaérobiques. La demande physiologique imposée aux joueurs pendant les matchs et les entraînements ont fait le sujet de recherches des dernières décennies (Osgnach, 2010). Le soccer moderne exige une vaste gamme de demandes physiques sur les joueurs pendant le match. Outre la puissance aérobie et la capacité à supporter une haute utilisation fractionnaire de cette dernière (Hoff, 2004), le joueur de soccer a besoin d'une rapidité explosive et d'une vitesse de course décisives tant dans la défense que dans l'attaque. Durant le match, le joueur exécute en moyenne une distance de 0.35 km à la première mi-temps et 0.30 km à la deuxième mi-temps en sprint (Mohr et al, 2003).

La puissance, la détente et l'agilité sont souvent importantes dans les moments critiques du jeu. Canavan (2004) mentionne que la puissance des membres inférieurs, et en particulier la détente verticale, est considérée comme un élément crucial pour la performance athlétique. La force et la puissance partagent l'importance avec l'endurance dans le soccer de haut niveau. Deux différents mécanismes, l'hypertrophie musculaire et les adaptations neurales sont centraux dans le développement de force musculaire (Stølen et al, 2005).

2.2 La pliométrie

La pliométrie est une des méthodes d'entraînement recommandé pour l'amélioration de la puissance dans les détente et dans la vitesse de course (Kotzamanidis, 2006). Elle mène aux améliorations de la performance particulièrement dans les activités exigeant des contractions musculaires explosives (Malisoux, 2006). Outre son effet sur l'explosivité, la pliométrie améliore la performance chez des coureurs d'endurance, et ce, suite à une amélioration de l'économie à la course. Paavolainen (1999) propose que l'économie de course peut être le meilleur déterminant de la performance dans les sports d'endurance. Une amélioration de 5% de l'économie de course peut augmenter approximativement la distance couverte pendant un match de 1 000 m. (Hoff et Helgerud 2004).

Dans la théorie de l'entraînement de la force, l'entraînement spécifique à l'amélioration de l'explosivité est mentionné comme " l'entraînement Plyométrique ". La méthode est appelée la "Méthode Plyométrique "(Stojanović, 2002). L'entraînement de la pliométrie a été préconisé comme une approche appropriée pour les sports qui exige de l'explosivité et l'amélioration de la détente verticale (Eduardo sa'ez, 2008). Rahman (2005) indique que l'entraînement de plyométrie à court terme est capable d'améliorer la détente verticale, la force musculaire et la puissance anaérobie. Par contre, il préconise que sa combinaison avec un entraînement avec charge est encore plus avantageuse. Chez des joueurs de volleyball, la pliométrie a mené à l'augmentation de la force explosive des muscles de la jambe et a augmenté ainsi les habiletés d'exécuter de meilleurs sauts de pointe, sauts de profondeur et de triple saut permanent (Milić, 2008). En somme, l'entraînement de pliométrie peut être avantageux pour développer la puissance et la force des membres supérieurs (Jeffery, 2000). La pliométrie attribue à l'exécution des mouvements du cycle étirement-raccourcissement qui impliquent une contraction excentrique intense suivie, immédiatement, d'une contraction concentrique rapide et puissante (Goran, 2007). Sur la même voix, Ademol (2009) définit l'entraînement plyométrique comme une méthode presque exclusivement appliqué aux muscles extenseurs des jambes. Elle consiste en un allongement vigoureux des muscles extenseurs actifs (la contraction excentrique)

immédiatement suivi par une contraction concentrique maximale. Ceci est appuyé de même par Takarada (1997) ou il définit le mouvement comme un étirement du muscle suivi immédiatement par un raccourcissement d'où il génère une plus grande force de contraction. Cette force générée serait supérieure que la force générée par le muscle sans être étiré précédemment (Takarada, 1997). Dans le même ordre d'idée, Komi, (1984) a défini le cycle étirement-raccourcissement comme étant un étirement d'un muscle actif immédiatement suivi par une contraction concentrique. Le rapide ralentissement de l'action excentrique provoque la génération de grande force et fait ainsi une action plus forte (Takarada, 1997). La grande force générée quand le muscle se contracte après un étirement peut s'expliquer par la sortie de l'énergie élastique stockée pendant l'étirement (Giovanni, 1968). D'après Eduardo sa'ez (2008) un programme d'entraînement de pliométrie à court terme avec des fréquences de sauts moyennes et un volume moyen d'entraînement en raison de 2 jours par semaine avec 840 sauts produit le même effet qu'un programme avec une plus haute fréquence d'entraînement soit de 4 jours par semaine avec 1680 sauts, mais avec une plus grande efficacité. Outre son efficacité comme moyen de développement de la force explosive, la pliométrie est utilisée comme moyen de prévention de blessure. Lephart (2005) a introduit cette technique pour modifier des caractéristiques neuromusculaires et biomécaniques, et ceux, par une amélioration des patrons ("patterns") d'activation musculaires dans une tentative de réduire le nombre de blessures chez des athlètes féminines. L'amélioration de la performance musculaire, à la suite d'un entraînement de pliométrie, est due à l'amélioration du patron (patterns) de recrutement des unités motrices et de l'augmentation de la surface de la section transversale du muscle, hypertrophie musculaire (Potteiger, 1999). Plus spécifiquement, du côté pratique, Rahman (2005) déduit que la combinaison de différentes méthodes d'entraînement promouvra toutes les qualités de la puissance et la force musculaire. Il illustre dans son étude, faite avec des étudiants collégiaux, que combiner un programme de musculation avec la pliométrie augmente significativement la puissance de la hanche et de la cuisse comparativement à un programme où il utilise les deux méthodes séparément. Ces résultats indiquent une amélioration mesurée par le saut vertical. Ceci est accentué à nouveau par Avery (2007) suite à son étude faite sur des enfants entre 12 et 15 ans. Il a observé qu'un programme d'entraînement pliométrique combiné à

un programme de conditionnement a pu réaliser des améliorations plus grandes en puissance des membres supérieurs de 14.4% et des membres inférieurs de 6.0%. Par contre, chez des sujets qui ont participé uniquement à un programme de conditionnement (étirement statique et musculation), il observe une amélioration seulement de 5.6% et 1.1%, respectivement.

2.2.1 Énervation et contrôle moteur :

L'entraînement plyométrique exige un haut niveau de développement de force concentrique des muscles quadriceps et des ischio-jambiers à la propulsion et un haut niveau de force excentrique pour le contrôle du mouvement du genou et de la hanche pendant la réception, ce qui améliore la stabilité dynamique du genou, (Wilkerson, 2004). Cette méthode d'entraînement induit une adaptation neuromusculaire avantageuse pour les muscles adducteurs de la hanche qui peuvent aider à la stabilité des articulations des membres inférieurs. L'entraînement neuromusculaire montre une grande stabilité dynamique du genou (Myer, 2005). La pré-activation des muscles adducteurs et la coactivation, synchronisation des muscles agonistes et antagonistes, des muscles adducteurs et des abducteurs augmentent après un entraînement de pliométrie. Chimera (2004) mentionne un changement significatif d'activité de l'EMG après 6 semaines d'entraînement plyométrique marqué par une augmentation d'amplitude du groupe des muscles adducteurs pendant la phase préparatoire à l'atterrissage. Le patron d'activation des muscles adducteurs était aussi significativement différent, avec une hâtive pré-activation et une amplitude plus supérieure avant le contact avec le sol. Dans le même contexte, Mrdakovic (2008) conclut après son étude sur des joueurs de soccer, qu'il existe une variabilité dans l'activité électrique des muscles inférieurs selon les conditions des sauts. Il mentionne que dans le saut réactif ("drop jump"), l'activité du muscle est bien réglable selon le changement de la hauteur de la plate-forme. Une différence significative existe dans la préactivité musculaire entre 40 cm et 60 cm, et 60 cm et 80 cm dans la majorité des muscles des membres inférieurs. La coactivation

des muscles est nécessaire à l'équilibre des forces des articulations. Chimera (2004) mentionne également une augmentation significative de la coactivation préparatoire adducteur-abducteurs suite à un programme d'entraînement pour le groupe pliométrique (102 %), par rapport à son groupe témoin (55 %).

2.2.2 Énergie élastique musculaire

La course, la marche à pied et les bonds sont des exemples typiques de la locomotion humaine où des forces externes (par exemple la gravité) allongent le muscle (Komi, 2000). Ces tâches locomotrices cycliques impliquant des cycles d'étirement-raccourcissement (SSC) tiennent compte de l'économie d'énergie. Le travail positif effectué par les muscles est utilisé momentanément pour augmenter l'énergie potentielle et cinétique du corps entier ou des membres et est immédiatement réabsorbé par les muscles eux-mêmes (Cavagna, 1985). Pendant la phase d'étirement l'énergie cinétique et potentielle superflue peut en partie être stockée dans les éléments élastiques en série et réutilisée plus tard pendant la phase de raccourcissement du muscle. Ce mécanisme permet à découpler des coûts de l'énergie métaboliques aérobiques (Bobbert, 2001). L'utilisation de l'énergie élastique qui stocke et retourne l'énergie mécanique est considérée comme le mécanisme métabolique le plus important de la conservation de l'énergie, spécialement dans la course (Sasaki, 2006). La course est caractérisée par un rebond élastique du corps à chaque pas (Schepens, 1998). À une grande vitesse, la locomotion peut toujours être vue comme une succession des rebonds d'un corps élastique (Cavagna, 1988). À grande vitesse (25-34 km/hr) une fraction appréciable de la puissance semble être supportée par l'énergie mécanique stockée dans les éléments élastiques en série pendant l'étirement des muscles contractés (travail négatif) et sort immédiatement après, dans la phase positive du travail (Giovanni, 1971). L'habilité du muscle à stocker et utiliser l'énergie élastique dépend de la force d'étirement du muscle et la longueur d'étirement (Cavagna, 1977). Masaki (2005) mentionne que dans la course et les bonds, l'énergie élastique vient principalement du travail négatif initial. La composante élastique située dans

les ponts de myosine ("cross-bridges") et les composantes élastiques en série ("the series elastic component") sont essentielles pour le phénomène de stockage et de recueil de l'énergie potentielle, (Cornuá, 1997). Kurokawa (2001) a démontré que le stockage d'énergie élastique et sa libération par les structures tendineux sont essentiels pour le complexe musculo-tendineux afin de générer efficacement une tension importante à une grande vitesse de mouvement pendant la poussée finale ("the push-off phase") du saut. Malisoux (2006) conclut à la suite de huit semaines d'entraînement à base d'exercices impliquant des mouvements SSC, une augmentation du diamètre de la fibre musculaire, une augmentation de la force maximale et de même pour la vitesse de raccourcissement, ce qui mène à l'amélioration de la puissance de fibre. Cette amélioration était attribuée à l'énergie élastique stockée dans les éléments extensibles et contractiles pendant la phase excentrique et libéré pendant la phase de contraction concentrique.

Les muscles peuvent se raccourcir pour produire la puissance pour exécuter le travail mécanique, comme ils absorbent l'énergie en s'allongeant pour faire le travail négatif. Ils produisent la force isométriquement pour stabiliser les articulations ou en association avec les tendons pour stocker et récupérer l'énergie de la tension élastique (Andrew, 1998). L'élasticité du tendon d'Achille constitue un mécanisme important pour le stockage et la libération de l'Énergie de la tension élastique, ce qui améliore l'économie et les performances de locomotion (Muraoka, 2005). Ce mécanisme d'élasticité qui ne peut être affecté par le mode d'action du muscle ou par le niveau de production de la force mais par la durée d'actions (Kubo, 2001). Les interactions entre les fascicules de muscle et les tissus tendineux jouent un rôle important dans le processus du stockage économique et la sortie d'énergie élastique, bien que la façon dans laquelle cela arrive puisse dépendre du muscle qui est étudié (Ishikawa, 2005). Muraoka (2005) suggère que le tendon d'Achille des sujets puissants peut être en mesure de livrer une plus grande force musculaire avec une grande efficacité dans l'exécution de tâche motrice.

Les propriétés élastiques du complexe musculo-tendineux (MTC) sont décrites comme un mécanisme important pour économiser l'énergie du muscle pendant la locomotion (Cavagna, 1977). Dans les

mouvements à base du cycle étirement-raccourcissement, le comportement du fascicule est associé à la puissance du muscle et au ressort élastique des tissus tendineux à la phase de raccourcissement afin de produire un travail plus grand comparée à un exercice sans cycle étirement-raccourcissement (Kawakami, 2002). La puissance et le travail positif livré par un muscle pendant la contraction sont sensiblement augmentés quand le raccourcissement est immédiatement précédé par une phase dans laquelle il exécute un travail négatif (Giovanni, 1971). Le timing et la durée d'activation du muscle pendant l'étirement et le raccourcissement peuvent avoir un effet considérable sur la production de la puissance du muscle et son efficacité (Andrew, 1998). Selon le modèle classique de Hill, le complexe musculéux-tendineux est constitué d'une composante contractile (CC) et la composante élastique en séries (SEE). Bien qu'il y ait une composante élastique, même dans la fibre musculaire, la conformité ("the compliance") de la SEC dans les fibres (le pont transverse, d'actine / myosine filaments, les lignes Z) est négligeable comparé à celui des structures tendineuses (Sadao, 2001). Etemma (1997) a montré le rôle minime des éléments contractiles du muscle dans l'augmentation du travail pendant le raccourcissement du muscle comparé au recul élastique des composantes élastique en série (SEC) dans tout le complexe musculo-tendineux.

2.3 L'évaluation de la condition physique au soccer :

La compétition fournit le meilleur test sur un athlète, mais il est difficile d'isoler les composantes diverses du sport et obtenir des mesures objectives de la performance (Bangsbo, 2006). La technique individuelle, la tactique et les ressources physiques sont toutes importantes dans l'évaluation des différences de la performance au soccer (Hoff, 2005). Par les tests physiologiques des joueurs, les scientifiques sportifs peuvent analyser les données et utiliser ces informations pour fournir les profils individuels sur les forces et les faiblesses des joueurs (Svensson, 2005). Les tests fournissent des informations générales sur les capacités des athlètes et peuvent aider à les classer selon les différents

niveaux de performance (Bangsbo, 2006). Comme ils peuvent former une base pour développer des stratégies d'entraînement optimales (Svensson, 2005), la plupart des tests essaient de simuler les modèles d'activités pendant le match de soccer et obtenir une plus haute corrélation possible avec la performance pendant le jeu (Hoff, 2005). L'utilisation des tests d'aptitudes de laboratoire et de terrain aide à l'examen des capacités des joueurs à performer aux niveaux tant amateurs que élite (Svensson, 2005). Pour obtenir des données utiles d'un test, il est important qu'il soit approprié et ressemble aux conditions du sport en question. Bangsbo (2006) et Svensson (2005) mentionnent que l'évaluation post-programme devrait être spécifique aux buts de l'intervention. Par exemple, si un programme de sprint spécifique est exécuté, l'évaluation devrait être de nature anaérobie. La spécificité du test devrait aussi inclure une évaluation du ou des systèmes énergétiques approprié à l'activité. Bangsbo (2006) donne plusieurs raisons pour évaluer un athlète tels que, étudier l'effet d'un programme d'entraînement, motiver les athlètes à s'entraîner plus, donner une rétroaction objective ("feedback") sur l'athlète, rendre l'athlète plus conscient des buts de l'entraînement, évaluer si un athlète est prêt à rivaliser, déterminer le niveau de performance d'un athlète pendant une période de réadaptation, planifier des programmes d'entraînement à court et à long terme et identifier les forces et les faiblesses d'un athlète.

2.3.1 Tests de laboratoire

La force maximale

Hoff (2005) définit la force maximale en terme d'une seule répétition maximale (1-RM) dans un mouvement standardisé, comme dans l'exercice de demi-squat. Sur la même ligne d'idée, Ivey et al, (2000) la présente comme la résistance la plus haute à laquelle une seule répétition peut être complétée avec succès. Le test 1-RM sur des footballeurs devrait être exécuté comme des demi-squats - c'est-à-dire à une position à 90 ° entre le fémur et le tibia (Hoff, 2005). Les augmentations de la résistance

devraient être ajustées afin de réduire au minimum le nombre total d'essais exigés avant d'atteindre la réelle force maximale (1RM) (Ivey et al, 2000).

Tests d'explosivité

Tests de détente verticale

Gorostiaga (2004) a utilisé une plate-forme de contact (Newtest) où les sujets ont exécuté des sauts de "counter movement jumps" (CMJ) avec et sans charges supplémentaires diverses. Il a demandé aux sujets d'exécuter des sauts maximaux sur la plate-forme de contact de la position debout avec un mouvement préparatoire de la position de jambe en bas à un angle de flexion des genoux à 90 degrés, suivie par une action concentrique. Dans ces conditions de détente sans une charge supplémentaire, les sujets ont été instruits pour garder leurs mains sur les hanches au moment de l'action et réduire au minimum le déplacement latéral et horizontal pendant l'exécution du test.

Sur la même ligne d'idées, Oliver, 2008, a mesuré la détente verticale chez des joueurs de soccer âgés de 15 ans. Les tests de saut ont été exécutés sur une plate-forme de force (OR6-5, AMTI, Massachusetts, USA), avec une force verticale échantillonnée à 1000 Hz. Les sujets ont exécuté trois genres de sauts : "The squat jump, countermovement jump et the drop jump". "Le squat jump" a été fait à une position de départ accroupie où les genoux font un angle de flexion de 90°. Les sujets prenaient une position accroupie pour les trois sauts en suivant un signal verbal pour sauter. Le saut de contremouvement a commencé d'une position droite. Suite à une commande verbale, le participant a fait le contremouvement en bas à sa position préférée et ensuite immédiatement a sauté verticalement pour une hauteur maximale. Pendant le saut de chute libre "the drop jump", les participants ont été instruits pour sauter d'une hauteur de 0.35 m et ensuite verticalement pour la hauteur la plus grande possible après l'atterrissage.

Saša (2010) a mesuré le saut en contre mouvement "counter mouvement jump" par un accéléromètre sans fil placé sur la ceinture, le Myotest. Le Myotest évalue les quatre importants déterminants de la force explosive qui sont la hauteur (exprimé en cm), la puissance (exprimé en W/kg), la force (exprimé en N/kg) et la Vitesse (exprimé en cm/s). Il calcule la puissance, la force et la vitesse des mouvements sportifs verticaux en utilisant trois accéléromètres dimensionnels. Il mesure l'accélération (le changement de la vitesse dans le temps) du sujet pendant les mouvements sportifs. En multipliant la masse du corps, le poids ou l'objet étant déplacé, par l'accélération, le Myotest calcule automatiquement la force produite en Newton (N).

"Soccer-Specific Intermittent-Exercise Test"

Jonathan (2009) présente Le Soccer-Specific Intermittent-Exercise Test (SSIET) comme un test de capacité de répéter des sprints prolongés pendant des exercices représentant le match de soccer. Il fournit une méthode appropriée de mesurer les sprints spécifiques prolongés des joueurs dans le laboratoire avec des niveaux acceptables de fiabilité. Le test est fait sur un tapis roulant non motorisé. Les résultats obtenus suggèrent que la charge de travail imposée pendant le test est semblable à celles expérimentée pendant le match.

Le SSIET a été conçu pour imiter les demandes physiques d'une mi-temps de jeu, les participants achèvent trois séries de 14 minutes d'exercice séparé des périodes de repos de 3 minutes. La période de récupération peut permettre aux participants de consommer 175 ml d'eau et fournir l'occasion de prendre des mesures du lactate sanguin (BLA). Chaque série de 14 minutes est subdivisé sur des périodes d'exercice intermittent de 2 minutes qui se répètent 7 fois. Chaque période de 2 minutes inclus 5 secondes de sprint maximal, la durée du sprint est choisie pour assurer que les sujets aient le temps adéquat pour réaliser des valeurs maximales tant pour la puissance que pour la vitesse. La performance pendant le SSIET est évaluée selon les efforts des sprints.

Les données de chaque 5 seconde de sprint sont utilisées pour calculer la puissance maximale ("peak power output") et la vitesse maximale ("peak velocity"), aussi bien que la puissance moyenne ("mean power output") et la vitesse moyenne ("mean velocity"). La moyenne des 7 sprints complétés à chaque série du SSIET représente les résultats pour chacune des 4 variables. Entre les efforts de sprint, les sujets doivent être à l'arrêt, marcher, faire du jogging, trotter avec des vitesses spécifiques assignées à chacune de ces catégories.

2.3.2 Tests de terrain:

Le test navette progressif sur 20 m

Le test navette progressif de 20m (MSRAT20m) est un des tests les plus valides et bien acceptés pour l'évaluation de la performance aérobique dans une variété d'activités tels que la culture physique, les programmes de santé adultes et les tests de performance sportif spécifique (Theophilos, 2007).

Inventé par Leger et Lambert, 1982, c'est un test de terrain conçu pour évaluer la consommation maximale d'oxygène (VO₂max). Il implique une course navette continue entre deux lignes placées à 20 mètres l'une de l'autre. La vitesse de départ est de 8.5 km/h qui augmente progressivement de 0.5 km/h conformément au signal audio. Ce changement de la vitesse est décrit comme le changement du palier.

Quand le sujet ne peut plus suivre le rythme sonore, le dernier palier annoncé est utilisée pour prédire la consommation maximale d'oxygène en utilisant l'équation de Leger et al (1988) qui est

$$Y = 31.025 + 3.238 X - 3.248A + 0.1536AX$$

Où,

Y= VO₂max (ml/kg/min),

X= la vitesse maximale atteinte en km/h.

A= Age (années).

Le yo-yo intermittent test 2:

Jens Bangsbo (2006) présente le yo-yo test comme un test qui, d'une façon facile, évalue les aspects divers de la performance. Les tests contiennent des activités de course qui sont appropriées à beaucoup de sports. Il introduit que par ce test, la capacité physique est évaluée d'une façon rapide et simple. Deux marqueurs sont placés à une distance de 20 m. Le participant exécute des courses dans les deux sens entre les marqueurs à des vitesses données qui sont contrôlées par le bip. La vitesse de course est régulièrement augmentée et le test fini quand l'individu ne peut plus maintenir le rythme. Entre chaque navette de 20 m il y a une période de récupération de 10 secondes. Le résultat des sujets est déterminé par la distance parcourue pendant le test. Avec l'utilisation de ces tests, il est possible d'obtenir des informations sur un grand nombre d'athlètes dans un temps court et les tests ont une haute validité de la performance pendant la compétition que des essais en laboratoire. En comparaison avec le test navette 20m de léger, L'YIET peut être un moyen d'évaluation plus favorable de la performance d'endurance des joueurs de soccer (Abdul, 2005).

L'Hexagone Multi-niveau Test de course Aérobique de 10m" (HMRAT10m)

L'Hexagone Multi-niveau Test de course Aérobique de 10m" (HMRAT10m) (Fig. 1). L'hexagone est dessiné avec des lignes blanches sur la surface de course avec une distance angulaire de 10m, le sommet de l'hexagone est d'un angle de 45° tandis que les quatre autres sommets sont de 150° (Theophilos, 2007). En pratique le HMRAT10M est une course progressive à une vitesse continue dans le sens des aiguilles de la montre, la tâche consiste à parcourir les six lignes de suite. La distance de l'angle à l'angle est de 10m. Cette version de la conception a été basée en supposant que l'hexagone avec ces deux types d'angles (45° et 150°) puisse faire la liaison entre les course navettes du MSRAT20M intermittent et la course du test de la capacité aérobique continu qui se fait sur la piste. Les participants pendant le HMRAT10M sont instruits à courir de l'angle de départ à une vitesse de

course basée sur les bips sonores du protocole MSRAT20M. Le participant devrait être dans chaque 20m ou dans l'angle de deux distance (10+10m) à n'importe quel signal sonore. Pour chaque sujet qui échoue deux fois à atteindre la marque de l'angle de 20m à la fin de chaque navette, à l'allure donnée par le protocole du MSRAT20M, le test est terminé. La consommation d'oxygène maximale des sujets (VO_{2max}) est calculée en utilisant les tables prédiction des valeurs de la VO_{2max} de Ramsbottomet, (1988). Les résultats de la VO_{2max} tant dans HMRAT10M que dans le MSRAT20M ont présenté des coefficients de corrélation aussi haut que 0.86 ($p < 0.01$) (Theophilos, 2007).

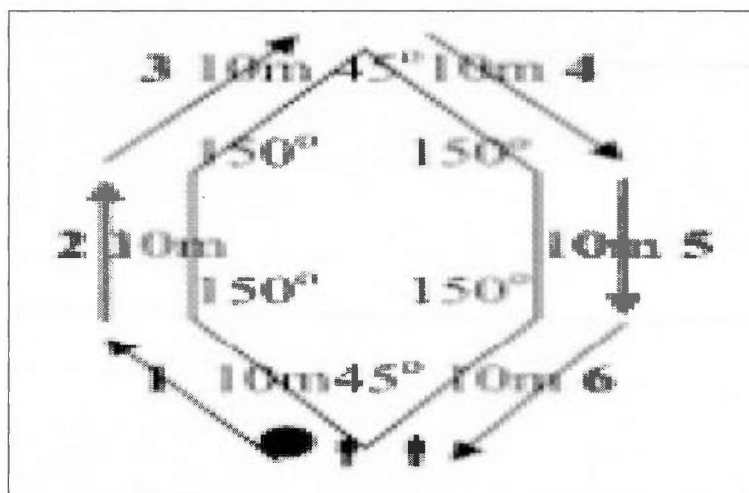


Fig 2.1 : représentation schématique du HMRAT10m (Theophilos, 2007).

Test d'endurance spécifique "Hoff test"

Stølen (2005) présente le test de Hoff (2002) comme un circuit adapté de 290 m par tour (Fig. 2). Le joueur conduit le ballon entre les cônes et soulève la balle au dessus de la haie de 30 cm de hauteur puis continue la conduite jusqu'au point A (voir schémas). Entre le point A et B le joueur se déplace en conduite arrière du ballon, avant de tourner et partir à nouveau. La durée du test est de 10 minutes

pendant lesquelles on demande au joueur d'exécuter le maximum de tours du circuit. La performance du test (m) est reproductible (0.96) et significativement corrélée avec la VO₂max (Hoff .2002).

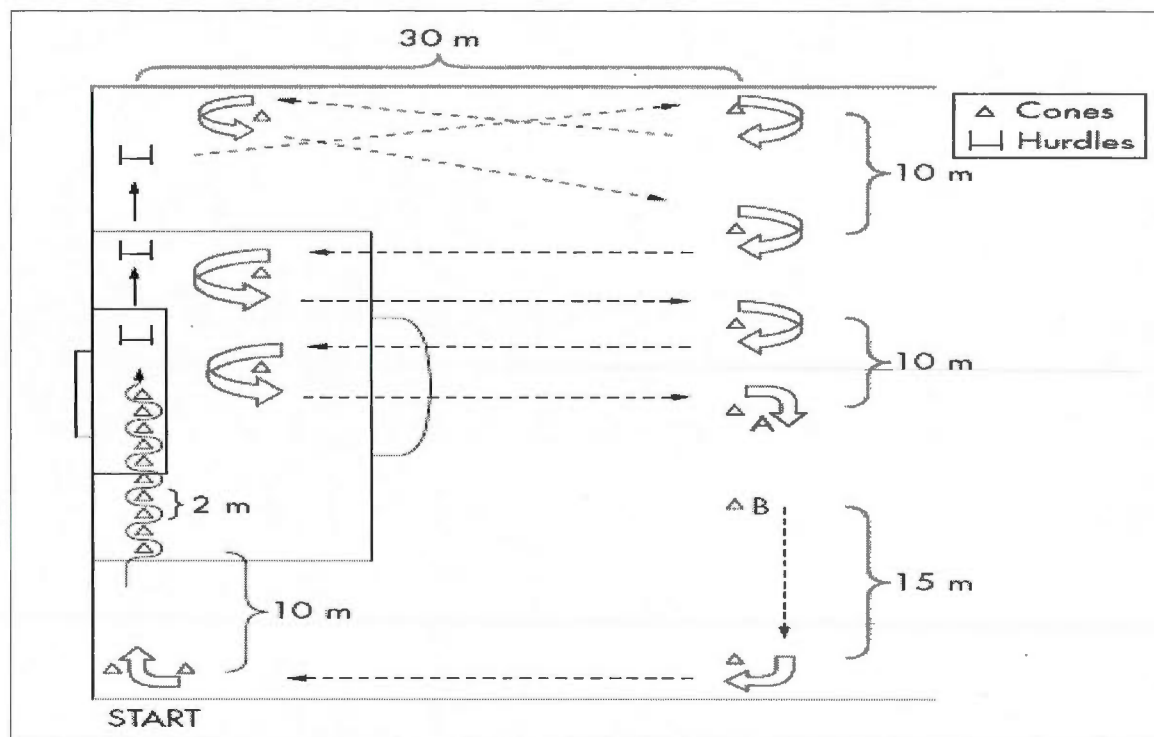


Fig 2.2 : le test spécifique de Hoff (2002), circuit de conduite de balle, pour la mesure de la Vo₂ max..

Le test de Bangsbo "The Bangsbo test"

Chamari (2004) présente le test comme un test d'endurance spécifique de soccer qui a été proposé par Bangsbo (Fig. 3). Le test dure 16.5 minutes, pendant lesquelles les joueurs alternent 40 courses de 15 secondes à une haute intensité et 40 autres courses d'une durée de 10 secondes avec une basse intensité. Les périodes d'efforts sont dictées par un long signal sonore au commencement et deux signaux sonores courts à la fin de chaque sprint. Pendant les périodes de haute intensité, les sujets suivent un circuit décrit dans la surface de réparation du terrain de soccer. Ils exécutent 40 m de course avant, 8.25 m de course arrière, 95.25 m courses avant par un slalom à des angles de 120° , 8.25 m de course de côté en dos face au centre du circuit et 8.25 m de course de côté face au centre du circuit. Pendant les périodes de basses intensités, les joueurs courent vers le centre du circuit et reviennent au dernier cône marquée qu'ils ont atteint à la fin de la période de course à haute intensité précédente. La performance du test est la distance couverte pendant les 40 périodes de course de haute intensité.

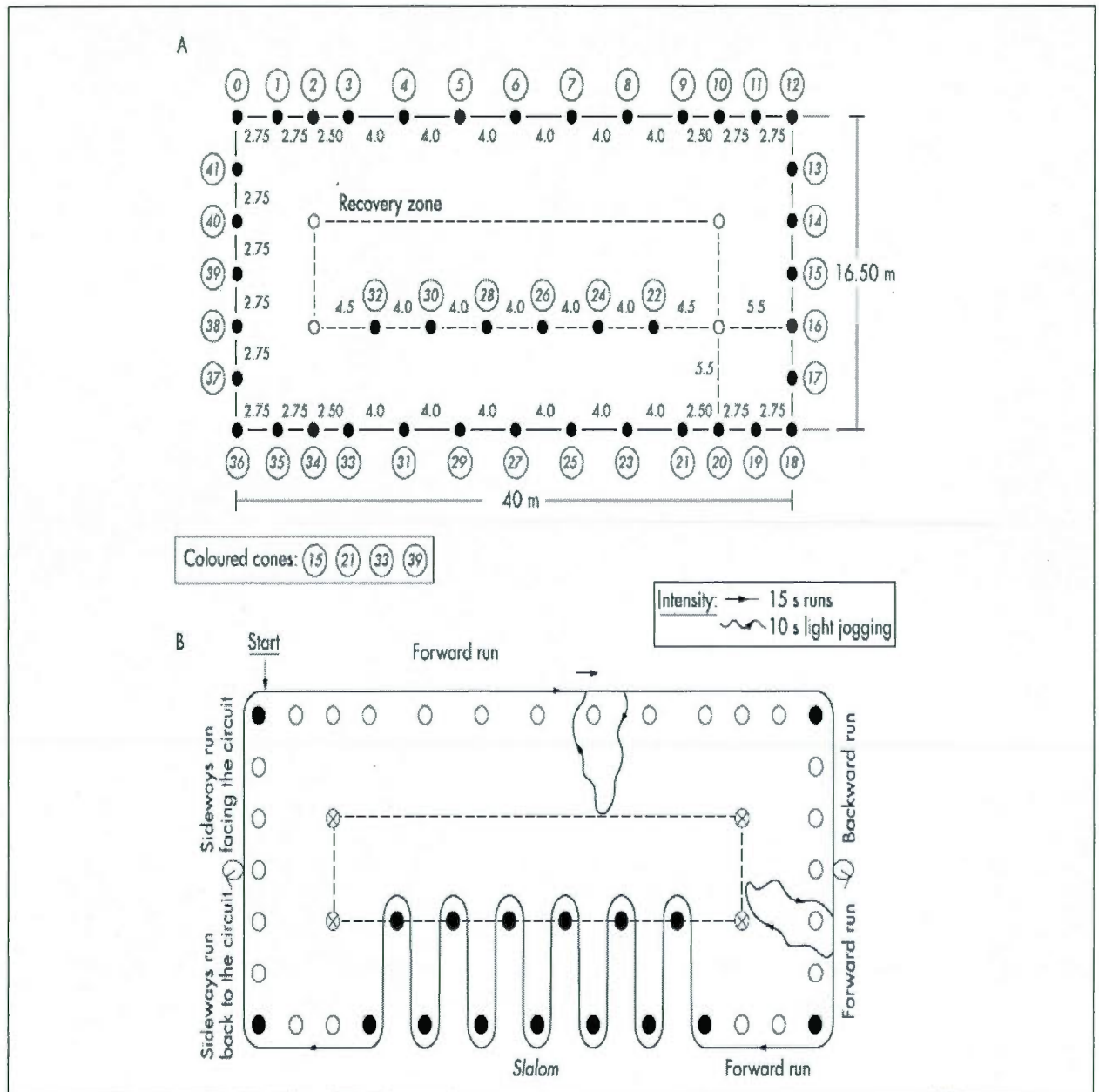


Fig 2.3 : Le test de Bangsbo (1992)

Bangsbo sprint test "Multiple-sprint tests"

Abrantes (2004) présente Bangsbo sprint test comme un protocole qui consiste en sept sprints maximaux de 34.2 m (Fig. 4). Chaque sprint est exécuté avec un changement de direction. Des cellules photoélectriques sont utilisées pour mesurer la performance des sujets et augmenter la fiabilité du test. Après chaque sprint il y a une période de récupération actif (25 s pour couvrir une distance de 40 m), sous forme de jogging. La récupération est prévue pour assurer que les sujets retournent au point initial entre la 23^e et 24^e seconde.

De plus, un retour d'information verbal à 5, 10, 15 et 20 s de la période de récupération est donné.

La performance est mesurée comme le temps de sprint moyen en secondes.

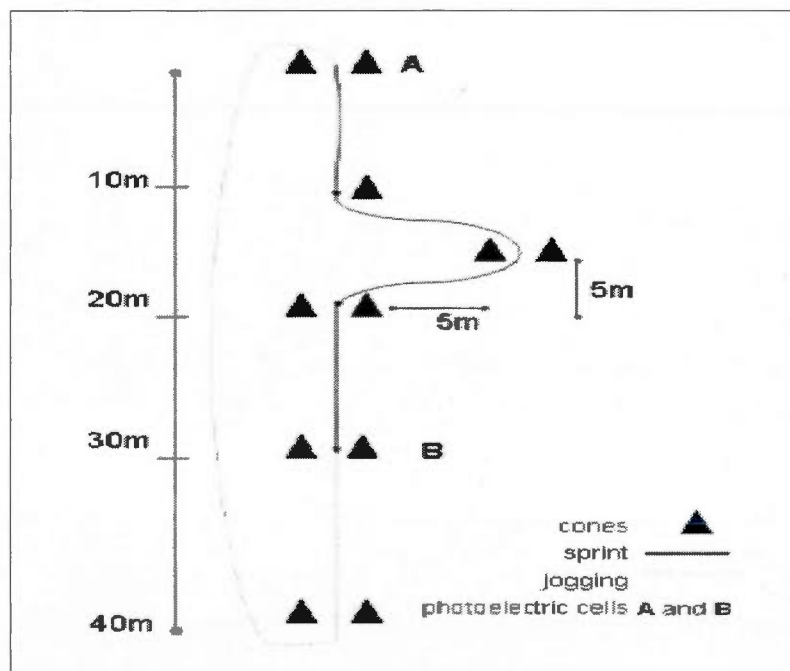


Fig 2.4: le test de Bangsbo de vitesse (Bangsbo sprint test)

Test de "repeated-sprint ability" (Gabbett, 2010)

Le test consiste en 6 sprints d'effort maximaux de 20 m sur une période cyclique de 15 secondes (Fig. 5). À la fin de chaque sprint, les joueurs exécutent une décélération de 10 m puis 10 m de récupération active. Le test développé a été basé sur un test similaire utilisé pour le hockey.

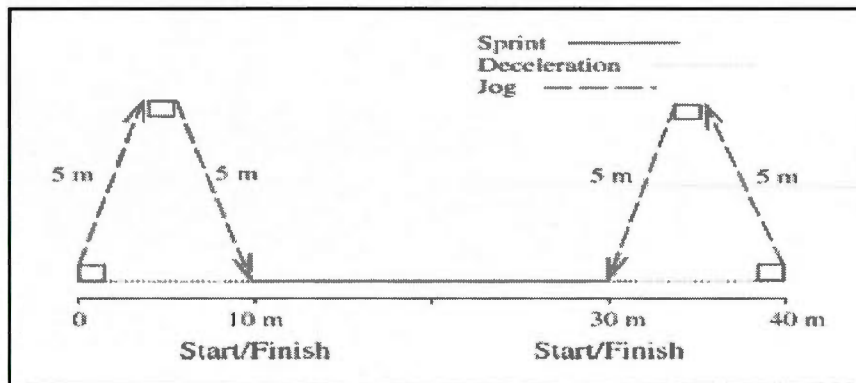


Fig 2.5 Le test de vitesse intermittente Test Of Repeated-Sprint Ability (Gabbett, 2010).

Test d'agilité (Thomas, 2005)

L'agilité est évaluée suite à une course en zigzag faite sur quatre sections de 5-m à des angles de 100° (Fig. 6). Le test est simple à mettre en place, il se base sur l'accélération, la décélération et le contrôle de l'équilibre

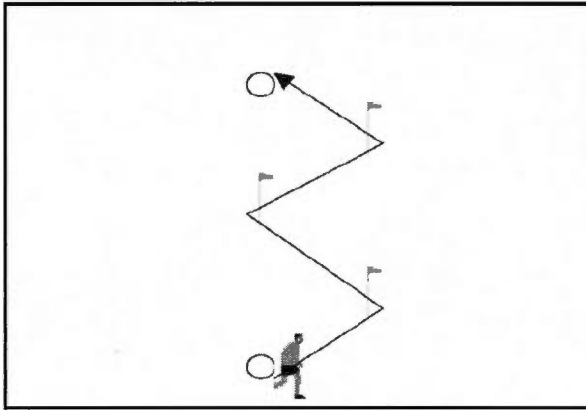


Fig 2.6 : Test d'agilité de Thomas (2005)

2.4 Endurance et soccer

Le soccer est un sport intermittent dans lequel le système énergétique aérobie est fortement taxé, avec une moyenne et un pic de la fréquence cardiaque autour de 85 et 98 % des valeurs maximales, respectivement (Bangsbo, 2006). La performance d'endurance aérobie est dépendante de trois éléments importants : la consommation d'oxygène maximale (Vo_{2max}), Le seuil anaérobie et l'économie de course (Joyner, 2008). Hoff (2004) mentionne que la Vo_{2max} est probablement le plus important facteur déterminant du succès dans les sports d'endurance aérobie. Elle est définie comme le plus haut volume d'oxygène consommé qui peut être atteint lors de l'exercice dynamique avec un grand groupe de muscles (Wagner, 1996).

Dans un match de soccer, la moyenne des pulsations cardiaques est autour de 165 pulsations par minute, qui correspond à un cout métabolique relatif d'environ 75 % de la Vo_{2max} (Reilly, 1997). Sur la même ligne d'idées, (Bangsbo, 2006) mentionne que les mesures de la fréquence cardiaque pendant le match semblent suggérer que la consommation d'oxygène moyenne soit autour de 75 % de la Vo_{2max} .

Les mesures physiologiques de la puissance aérobique maximale (Vo_{2max}) et seuil anaérobie sont généralement utilisés pour contrôler les aptitudes et le niveau d'entraînabilité des athlètes. (Edward, 2003). En moyenne, le football compétitif correspond aux dépenses énergétiques d'environ de 75 % de la puissance aérobique maximal. Reilly (1997) mentionne que les dépenses énergétiques varient avec la position des joueurs, les plus hautes étant parmi les joueurs du milieu de terrain.

La performance des joueurs dépend d'une multitude de facteurs tels que l'habileté technique et la capacité d'endurance, ces derniers exercent une influence majeure sur la performance du match (Little, 2006). La capacité aérobique a un rôle important dans le football moderne et a une influence majeure sur la performance technique et le choix tactiques des joueurs (Chamari, 2005). La littérature montre une relation significative entre la Vo_{2max} et la distance couverte pendant un match (Bangsbo, 1994). La distance couverte pendant le jeu est lié tant à la puissance aérobique du joueur qu'à sa capacité pour supporter une haute utilisation fractionnaire de sa puissance aérobique (Hoff, 2004). La distance couverte par les joueurs a tendance à refléter l'énergie dépensée dans le jeu (Reilly, 1997). Des études ont démontré que l'amélioration de la consommation maximale d'oxygène a mené à l'augmentation de la performance, justifiée par la distance couverte, le niveau d'intensité de travail, le nombre de sprints et le nombre de d'engagements (involvements) avec la balle pendant un match (Helgerud, 2001). Bien que les joueurs du milieu couvrent les distances les plus grandes sur le terrain, leurs niveaux d'aptitude aérobique supérieure leur permettent de maintenir un haut niveau d'intensité exercée partout dans le jeu. (Reilly, 1997).

Les athlètes d'endurance ont des valeurs de la Vo_{2max} entre 70 et 85 ml.kg/mn, avec des valeurs chez les femmes plus basses que les hommes à une moyenne d'environ 20-25 % dû aux niveaux plus hauts de la graisse corporelle (Drinkwater, 1973).

Les adaptations les plus saisissantes de l'entraînement qui contribuent à ces hautes valeurs de la Vo_{2max} inclut un plus haut niveau de volume systolique, une augmentation du volume sanguin, une augmentation dans la densité capillaire et mitochondriale dans le muscle entraîné (Joyner, 2008). Les valeurs de la Vo_{2max} sont plus grandes chez les joueurs élités que chez les joueurs amateurs. La

VO₂max moyenne des footballeurs élite est entre 55-67 ml/kg/ min (Raven.P.B et al, 1976 ; Williams et al, 1973) avec des valeurs individuelles plus grande que 70 ml/kg/ min (Hoff.2004). Sergej (2000) a étudié le profil des joueurs serbes. Il a trouvé que les joueurs qui appartiennent à une équipe qui rivalise dans la première ligue nationale professionnelle possèdent des valeurs de Vo₂max de l'ordre de 53.5 ± 8.6 ml/kg/ min tandis que les joueurs qui appartiennent à une équipes de la troisième division possèdent des valeurs inférieures de 42.9 ± 6.6 ml/kg/ min. Les footballeurs juniors possèdent un plus bas VO₂max (< 60 ml/kg/ min) que les joueurs seniors (Stølen, 2005). Helgerud (2001) mentionne les valeurs suivantes chez des joueurs juniors Norvégiens, 58.1 ml/kg/min et $169.9 \text{ ml/kg}^{0.75}/\text{min}$. MacMillan (2005) a trouvé chez une équipe de jeunes scotlandais les valeurs de 63.4 ml/kg/min et $183.3 \text{ ml/kg}^{0.75}/\text{min}$. Chez des joueurs élites allemands, Reinke (2009) a mesuré les valeurs de 51.2 ± 4.6 ml/kg/min. Les valeurs de la Vo₂max varient selon le poste joué, chez les joueurs du milieu et les arrières latéraux qui ont tendance à avoir de plus hautes valeurs de la VO₂ Max. (Hoff.2004). Chez les joueurs de champs masculins elle varie d'environ 50-75 ml/kg/minutes (155-205 ml / $\text{kg}^{0.75}/\text{min}$) (Stølen, 2005). Dans la littérature nous trouvons une variation des valeurs selon le poste dans le jeu. Pour les attaquants ça varie de 60.0 à 62.9 ml/kg/min, les joueurs de milieu de 61.9 à 63.0 ml/kg/min, les défenseurs centraux de 54.8 à 62.8 ± 4.4 ml/kg/min, les arrières latéraux de 61.5 à 63 ml/kg/min (Arnason, 2004 ; Bangsbo, 1994) pendant que les gardiens de but ont une vo₂max de 50 à 57 ml / kg/minute (155-160 $\text{ml/kg}^{0.75}/\text{min}$)(Stølen, 2005).

L'entraînement aérobique est une composante importante de l'entraînement physique au soccer. Il y a un consensus général que la VO₂max est limité surtout par la capacité du système cardiovasculaire à transporter l'oxygène aux muscles actifs (Bassett et Howley, 2000). L'amélioration de la consommation d'oxygène maximale (VO₂max) et de l'économie de course de 5 ml/kg/min et de 7 %, respectivement, a considérablement influencé la performance technique et tactique des joueurs pendant le match (Chamari, 2005). L'exercice intermittent à 90-95 % de la FC max pour une durée de 3 à 8 minutes implique une charge majeure sur les organes du transport d'oxygène. En s'entraînant à cette intensité, l'amélioration de la VO₂max s'étend de 10 à 30 % dans une période de 8 à 10 semaines,

avec des variations individuelles dues au niveau initial d'entraînabilité et de la durée et la fréquence de l'entraînement (Helgerud, 2001)

Le soccer est caractérisé comme un exercice d'une haute intensité non-continue, intermittent. Les joueurs de champ couvrent approximativement 10 – 12 km et les gardiens de but 4km par match, dont les sprints constituent 1 à 11 % des distances parcourues (Stølen, 2005). Selon, Siérovich (2005) 80 % de l'énergie consommée pendant un match, est associé au système oxydatif, tandis que 8-18 % contribuent au système glucolitique. Le glycogène musculaire est un substrat important pour le footballeur (Bangsbo, 2006).

L'amélioration de l'endurance aérobie augmente la distance parcourue, l'intensité de travail, le nombre de sprints et l'engagement avec la balle pendant le match soccer (Hoff, 2004).

En se basant sur l'analyse du jeu, Bangsbo (2006) mentionne qu'il est clair que l'entraînement des joueurs de soccer devrait se concentrer sur l'amélioration de leur capacité à exécuter des efforts intenses et de récupérer rapidement. Un des moyens qui contribue à cet effet, c'est l'entraînement par intervalle. Ce modèle d'exercice peut être décrit comme intervalle et acyclique, où des intervalles fréquents d'efforts brefs de haute intensité sont entrecoupés de pauses courtes d'intensité modérée ou basse (exemple, le jogging) (Siérovich 2005). Helgerud (2007) révèle que l'entraînement de course par intervalle de 15/15 et 4 X 4 min à une intensité de 90–95% FC max, augmente significativement la $\dot{V}O_{2max}$ (7.2%). Cependant, un entraînement de course en continue à une intensité de 70 et 85% FC max n'influence pas la Vo_{2max} . Hoff (2002) suggère que l'atteinte de la haute intensité aérobie dans les séances d'entraînement ainsi que l'endurance et l'entraînement par intervalle peuvent être effectuées chez les joueurs de soccer avec différentes manières spécifiques que la course simple. Un parcours technique spéciale particulièrement conçue ou le jeu réduit peuvent produire l'intensité de travail recherchée.

L'entraînement par intervalle à une intensité d'exercice correspondant à 90-95 % de la fréquence cardiaque maximale, d'une durée de 3 à 8 minutes, séparées par 2-3 minutes de récupération active à environ 70 % de FC maximale, est un entraînement extrêmement efficace pour augmenter la VO_{2max} (Stølen, 2005). Helgerud (2001) déduit à la suite d'un protocole d'entraînement aérobie qui a consisté

en un entraînement de course par intervalle de quatre fois 4 minutes. Chacune des courses était à une intensité d'exercice de 90-95 % de FC maximale de chaque joueur, séparées par des périodes de 3 minutes de jogging à 50-60 % de FC max. L'entraînement par intervalle a été administré comme une extension de l'entraînement habituel de deux fois par semaine. Une augmentation de la VO_{2max} de 10.8 % était remarquée après une période de 8 semaines au début de la saison. Il mentionne une augmentation de la distance couverte pendant le Jeu de 20 % de même que le nombre de sprints par joueur pendant le match de 100 % et le nombre d'engagements ("involvements") avec la balle a augmenté de 24.1 %. Comme conséquence aux effets présentés les joueurs ont parcoururent en moyenne 1716 m de plus dans la phase post entraînement que dans la phase près- entraînement.

McMillan (2005) dans son étude faite sur des jeunes joueurs de soccer professionnel (U17) a mis sur pied un programme où l'entraînement par intervalle a été exécutée deux fois par semaine pendant 10 semaines et remarque que l'intervention aérobique a montré des améliorations significatives de la Vo_{2max} de 9 %. La Vo_{2max} moyenne a augmenté de 63.4 (5.6) à 69.8 (6.6) kg/ml/min. Ce genre d'exercice intermittent implique une charge majeure sur les organes de transport d'oxygène (Helgerud, 2001). Sur la même ligne d'idées, il ajoute qu'en s'entraînant à cette intensité, l'amélioration de la VO_{2max} s'étend de 10 à 30 % dans une période de 8 à 10 semaines, avec des variations individuelles dues au niveau d'entraînabilité, de la durée et la fréquence des entraînements. Hoff (2002) suggère de faire un entraînement d'endurance spécifique sous forme de mini jeu avec un effectif réduit ou dans un circuit technique, dans la zone d'intensité efficace pour développer la Vo_{2max} et la performance correspondante de soccer. Chamari (2005) a conclu après un programme d'entraînement que la distance couverte dans le test de Hoff a augmenté de 9.6 % tandis que la consommation d'oxygène maximale a augmenté respectivement de 14.5 % et 7.5 % exprimés en valeur absolue (l/min) et relative (ml/kg/min). L'entraînement consistait à conduire la balle tout au long du parcours technique de Hoff pour atteindre une intensité individuelle de la fréquence cardiaque maximale de 90 à 95 % FC max pendant 4 minutes et à une intensité de 60 à 70 % de la fréquence cardiaque maximale durant la période de récupération active. Le jour suivant les joueurs ont participé à une procédure

d'entraînement différente, consistant à faire 4x4 minutes sur un carré de 20 X 20 m dans un jeu de 4 contre 4 diversifié avec 3 minutes d'échange de passe entre deux joueurs et de jonglerie avec la balle. Dans ce genre d'exercice les joueurs qui possèdent des valeurs plus hautes de la Vo2max montrent un pourcentage plus bas pendant le petit jeu de groupe (Hoff, 2002). Selon Little (2006) il y a un obstacle concernant l'utilisation d'exercices de soccer pour l'entraînement d'endurance qui touche à la variabilité de la charge d'entraînement entre les individus et sur les répétitions des exercices. Il mentionne que dans un groupe d'entraînement il est souvent désirable que tous les joueurs aient l'intensité semblable.

Arnold (1990) a mis un protocole d'amélioration de la Vo2max qui se résume dans trois groupes d'entraînements. L'un fait un entraînement de force, l'autre a fait un entraînement combiné de force et d'endurance et le dernier fait un entraînement d'endurance seulement. Il a trouvé que les valeurs finales des groupes d'entraînement combiné et le groupe d'endurance étaient significativement meilleurs que les valeurs initiales. Après les premières 11 semaines les améliorations étaient similaires pour les deux groupes. Sur la dernière moitié de l'étude, le groupe d'endurance avait une augmentation significative de la Vo2max, tandis que le groupe combiné n'a montré aucun changement. La Vo2max du groupe d'entraînement de force seulement est resté inchangé pendant toute l'étude. Chtara (2005) mentionne que l'ordre de l'entraînement de l'intra session de force et de l'endurance influence les adaptations induites à l'entraînement. Il a trouvé dans ces travaux que l'amélioration de la Vo2max en ml/kg/min était plus grande dans le groupe qui a fait de l'endurance suivie de la force. Elle était de 13.6 % tandis que dans le groupe qui a fait l'inverse elle était de 10.7 %.

L'entraînement d'endurance a été effectuée sur une piste de 200 m. Il a inclut cinq fractions successives. Chaque fraction a consisté en une période d'effort à 100 % de la vitesse de la Vo2max et une période de récupération active à 60 % de vitesse de la Vo2max.

Zhang (2005) a remarqué une amélioration dans les valeurs de la vo2max et dans la performance d'endurance suite à son modèle d'entraînement qui consistait à introduire les effets de l'altitude sur la performance des athlètes. Les sujets passaient 10 heures dans une chambre hypoxique ("the normobaric hypoxic room's") qui contient 15% d'oxygène comme une simulation d'altitude de 2500

m. Ils avaient trois séances d'entraînement par semaine sous une normoxie et ont exercé un entraînement de deux fois par semaine de 30 minutes à une intensité de 72 % de la Vo_{2max} sur l'ergocycle avec des conditions d'hypoxie. Suite à ce modèle d'entraînement, "living high training low", pendant 4 semaines, les améliorations de la Vo_{2max} était de 49 à 52 ml/kg/min et dans la performance du Yo-yo intermittent endurance test de $1,240.00 \pm 28$ m à $1,384.62 \pm 355.73$ m.

2.4.1 Économie à la course

La performance dans les sports d'endurance, particulièrement dans les longues distances, dépend de l'interaction de plusieurs facteurs physiologiques. Beaucoup de disciplines sportives d'endurance exigent une haute puissance aérobique et la Vo_{2max} est un bon indicateur de la performance d'endurance chez des sujets non entraînés (Paavolainen, 1999). Cependant, d'autres facteurs, tels que le "Running economy" ou le "peak treadmill running performance" peuvent être les meilleurs indicateurs de la performance d'endurance que la Vo_{2max} dans un groupe homogène d'athlètes d'endurance élités (Billat, 1996).

Di Prampero (2003) mentionne que la VO_2 max, l'utilisation fractionnée de la VO_{2max} et l'économie à la course sont les majeurs variables déterminants de la vitesse maintenue dans les courses de distance. De même et parce que l'oxygène fournit presque toute l'énergie pour les efforts de plusieurs minutes, les coureurs d'endurance plus performants doivent avoir un taux plus hauts de consommation d'oxygène (VO_2) pour soutenir une vitesse de course plus haute (Weyand, 1999). Di Prampero (1993) a déclaré qu'une amélioration de 5 % de RE a induit une augmentation approximativement de 3.8 % de la distance parcourue.

L'économie de course ("Running economy ") est typiquement définie comme l'énergie nécessaire à l'exécution d'une vitesse de course sous maximale donnée et est déterminée en mesurant la consommation d'oxygène à une vitesse constante et le ratio d'échange respiratoire (Saunders, 2004). L'économie de course est définie comme la quantité d'énergie métabolique nécessaire pour déplacer

une unité de masse corporelle sur une certaine distance ou la puissance métabolique par unité de masse de corps exigée pour courir à une certaine vitesse (Scholz et al, 2008). Selon Amanda et al (2003) l'économie à la course peut être exprimée comme le ratio d'oxygène consommé pour une vélocité de course donnée (ml.kg.min), le volume d'oxygène consommé par distance couverte (ml.kg.m) ou la distance parcourue par volume d'oxygène consommé (m.ml.kg). Une réduction dans la VO₂ permet à l'athlète de courir plus longtemps à une vitesse de course constante ou plus rapide avec le même effort relatif (Ronald, 1997). Le ratio sous maximal de la consommation d'oxygène est fréquemment utilisé comme moyen de mesure de l'économie de course (Keith, 1987). La meilleure économie se réfère à la course d'une plus grande distance pour un volume donné d'oxygène consommé ou à la consommation de moins d'oxygène en parcourant une distance donnée, (Amanda, 2003).

Anderson (1996) mentionne que l'efficacité se réfère au ratio du travail effectué par rapport à l'énergie dépensée. Il présente l'économie de course par les dépenses énergétiques et est exprimé comme Vo₂ sous maximale à une vitesse de course donnée. Par contre, Jared (2009) suggère que l'économie à la course exprimée comme un coût unitaire calorique est un moyen de mesure plus sensible et plus appropriée de l'économie à la course, comparée avec la mesure de l'efficacité comme une fonction de consommation d'oxygène ou le coût unitaire d'oxygène. Il mentionne que le coût unitaire calorique est un meilleur reflet d'utilisation d'énergie pendant la course que l'oxygène ou le coût unitaire d'oxygène.

De nombreux facteurs physiologiques et biomécaniques influencent l'économie à la course chez les coureurs élités. Ceux-ci incluent des adaptations métaboliques dans le muscle comme l'augmentation du nombre des mitochondries et des enzymes oxydative, la capacité des muscles à stocker et sortir l'énergie élastique en augmentant la rigidité du muscle et l'efficacité mécanique menant à moins d'énergie consommée (Saunders *et al*, 2004)

Sasaki et Neptune (2006) ont annoncé que pendant la course sous-maximale, l'énergie stockée dans le tendon et l'aponévrose du triceps surale et le quadriceps fémoral, unité musculoux-tendineuse, est

environ 75 % de l'énergie stockée dans tous les tendons du système musculéux squelettique. La quantité d'énergie stockée dans le tendon dépend des ces propriétés mécaniques, la conformité (compliance) et la longueur au repos et sur la force qui étire le tendon (Scholz, 2008 ; Adamantios, 2006). Keith (1987) a étudié les différences du volume d'oxygène consommé entre deux méthodes de courbures de genou ("knee bends"). Une avec la contribution du mécanisme élastique du muscle et l'autre ne recour pas à la contribution élastique. Il a trouvé que l'économie dans les coûts énergétiques a été de l'ordre de 20-25 % quand des contributions élastiques étaient possibles, avec une variabilité appréciable trouvée parmi des sujets. Le modèle du ressort est un facteur biomécanique important associé à l'économie de course, où le rebond du corps sur le sol est neutralisé ("counteracted") par le comportement à ressort de la jambe d'appui. Pendant la phase excentrique du contact, l'énergie mécanique est stockée dans les muscles, les tendons et les ligaments agissant à travers les articulations. La reconversion, pendant la phase concentrique, de l'énergie élastique stockée réduit les dépenses énergétiques (Dalleau et al, 1998). Williams et Cavanagh (1987) ont constaté qu'une meilleure économie de course chez des coureurs de distance élités masculins a été associée à l'étendue des foulés, à un sommet de force vertical inférieur et à un temps de contact avec le sol plus court. De même une plus grande vitesse de flexion plantaire maximale et une vitesse horizontale plus grande du talon au contact du pied sont aussi associées à une meilleure efficacité de course. Sur la même ligne d'idée Wright et Weyand (2001) confirment que le coût énergétique de la course est encouru dans les impulsions discrètes pendant les périodes de contact pied-sol quand la force est appliquée et que les mouvements de la phase aérienne des foulés encourrent un coût métabolique négligeable. Nummela et al (2007) ont concluent, suite à leur étude faite sur des jeunes athlètes d'endurance bien entraînés, que les temps de contact pied-sol présentent des corrélations statistiquement significatives tant avec l'économie à la course à des vitesses de 5.4, 5.8, 6.2 et 6.6m.s qu'avec la vitesse de course maximale. Keith (1987) suggère que, pour une meilleure compréhension de l'interaction mécano-métaboliques il est judicieux de faire des études soulignant des individus, plutôt que des valeurs moyennes pour un groupe. Il donne l'exemple du changement de la longueur de la foulée qui pourrait être avantageux pour un coureur et non pour un autre.

Dans la littérature, l'amélioration de l'économie à la course, a fait l'objet de plusieurs interventions. Ronald (1997) mentionne qu'une amélioration de 4% de l'économie à la course était remarquée suite à un programme de 10 semaines d'entraînement en résistance chez des coureuses de distance. Il indique qu'à une vitesse de 214 m.min, la consommation d'oxygène a passé de 41.7 à 39.9 ml.kg.min et à la vitesse de 230 m.min elle a passé de 44.5 à 42.8 ml/kg/min. Une autre forme d'entraînement de force, la pliométrie, paraissait également bénéfique pour l'économie à la course. Paavolainen (1999) a remarqué une amélioration de 8% dans l'économie de course et de 3% dans la performance des athlètes sur 5 km suite à un entraînement de 9 semaines en pliométrie, sans aucun changement dans la Vo2max. Ce genre d'entraînement neuromusculaire montre une grande stabilité dynamique du genou (Myer, 2005). La co-activation des muscles est nécessaire à l'équilibre des forces des articulations. Chimera (2004) mentionne une augmentation significative de la Coactivation préparatoire adducteur-abducteurs suite à un programme d'entraînement pour le groupe pliométrique (102 %), par rapport à son groupe témoin (55 %). Kyrolainen et ses collègues (2001) ont indiqué que la co-activation des muscles autour du genou et des articulations de la cheville augmente la rigidité des articulations des membres inférieurs qui est en relation avec une meilleure RE. De même ils mentionnent que l'action des extenseurs de la hanche devient aussi avantageuse à cet égard pendant le contact avec le sol. Sur la même ligne d'idées, ils informent que la pré-activation des muscles augmente la sensibilité du fuseau musculaire via l'amélioration de la co-activation des motoneurones gamma et alpha augmentant le reflexe d'étirement et améliorant la rigidité musculo-tendineuse, résultant en une amélioration de RE. Impellizzeri (2005) mentionne que l'entraînement par intervalle peut être bénéfique pour RE par la réduction de la fréquence cardiaque, du seuil ventilatoire et du lactate sanguin à des vitesses de course intenses. Par ailleurs, Saunders (2004) s'est intéressé à déterminer les effets altitude sur l'économie de course chez 22 coureurs de distances élites. Il a déterminé l'économie de course en mesurant la consommation d'oxygène sous maximal pendant 4 minute à des vitesses de course constantes de 14, 16 et 18 km/h. Il a conclu que vivre à une altitude simulée de 2,000-3,100 m en utilisant le modèle vivre en altitude et s'entraîner proche du niveau de

la mer (LHTL) pendant 20 jours a abouti à une amélioration de 3.3 % de l'économie de course chez les coureurs de distance élités.

En s'appuyant sur la littérature, nous cherchons, dans le contexte intermittent du soccer, à améliorer le rendement du joueur dans le match, et ce, par l'amélioration de son économie à la course et son explosivité.

La force au soccer

Au soccer la course est l'activité prédominante, cependant les efforts de type explosifs tels les sprints, les sauts, les duels et le tir du ballon sont des facteurs importants pour la performance. Ces efforts dépendent de la force maximale et de la puissance anaérobie du système neuromusculaire, plus particulièrement des membres inférieurs (Cometti, 2001)

L'entraînement de la force améliore la performance au soccer et il est une partie fondamentale de la préparation physique des joueurs élités. Manolopoulos et al (2006) et Behm et Sale (1993) présentent que la capacité du muscle à développer la force est dépendante de beaucoup de facteurs différents tels que la position initiale, la vitesse d'étirement du muscle, la vitesse de raccourcissement, la phase excentrique initiale, les types de fibres du muscle, le nombre d'unités motrices actives en même temps, la surface de la section transversale du muscle, la fréquence d'impulsion et le substrat disponible pour l'exercice du muscle.

Une variété de méthodes d'entraînement est utilisée pour améliorer la force et la puissance, surtout dans les sports exigeant de l'accélération et de la force explosive comme les sprints et les sauts. La force est définie comme le résultat intégré de plusieurs muscles produisant une tension au maximum, isométriquement ou dynamiquement pendant un effort volontaire dans une tâche bien définie. Typiquement la force maximale est définie en terme de 1RM dans un mouvement standard, comme le demi-squat (Hoff et Helgerud, 2004). Il y a deux idées qui émergent sur la surface de l'entraînement de résistance, la première est la perception qu'il est nécessaire d'utiliser de lourdes charges, 80-100 %

de la charge maximale (1RM), pour inciter le recrutement des fibres rapides des unités motrices sur la base du principe de taille (Sale (1987) et Lars (2005). Selon Hoff et Helgerud (2004), la force maximale est une qualité de base qui influence la puissance. Une augmentation de la force maximale est habituellement accompagné avec une amélioration de la force relative ce qui induit à l'amélioration de la puissance. Wisløff et al (2004) déduisent, de leur étude sur des joueurs internationaux de soccer, que la force maximale dans le demi-squat détermine la performance du sprint et de la détente verticale chez les joueurs de soccer de haut niveau. Ils suggèrent que les joueurs élites devraient se concentrer sur l'entraînement de la force maximale, avec l'accent sur la mobilisation maximale de mouvements concentriques, ce qui peut améliorer la performance dans le jeu. La deuxième est celle qui consiste à l'entraînement à une vitesse qui est plus proche de la vitesse réelle d'exécution des mouvements dynamiques en utilisant des charges légères, 30-40 % de force maximale ou (1RM), pour maintenir la spécificité de vitesse à l'entraînement et maximiser la puissance mécanique (Potteiger et al 1999 ; McEvrey, 1998).

La plupart des programmes de renforcement incluent des répétitions dynamiques avec des actions musculaires tant concentriques qu'excentriques avec des exercices isométriques suggérées pour jouer un rôle de stabilisation secondaire (ACSM, 2002). Des changements adaptatifs dans le système neuromusculaire peuvent être incités en réponse aux types spécifiques d'entraînement. Helgerud et al (2002) ont utilisé pour l'adaptation neurale, quatre séries de quatre répétitions, avec une charge près de 90 % de la maximale, en mettant l'accent sur la mobilisation maximale de la force dans le mode concentrique. Après 8 semaines d'entraînement de deux fois par semaine, les joueurs ont amélioré leur 1RM dans le demi-squat de 116 à 176 kg. La moyenne des résultats de sprint sur 10m est améliorée de 1.87 à 1.81 secondes et pour le 20m sprint s'est amélioré de 3.13 à 3.08 secondes.

Il a été bien établi que l'entraînement de résistance isométrique progressive peut mener à l'amélioration des capacités contractiles maximales du muscle (Pucci (2006), Rich (2000). Durand et al (2003) suggèrent que l'entraînement de résistance doit impliquer des exercices tant concentriques qu'excentriques, ce qui résulte à des augmentations disproportionnées de la contraction volontaire

maximale et la surface de la section transversale du muscle après l'entraînement de résistance (Christopher, 2007). Plusieurs études ont manifesté que la force musculaire dynamique et les changements morphologiques du muscle ont été supérieurs quand les deux régimes de renforcement, excentrique que concentrique, sont utilisés dans le programme de résistance (Colliander, 1990 ; O'Hagan et al, 1995). Elizabeth et al (1996) a déduit que l'acquisition de la force étaient plus supérieure avec des séquences d'exercices excentrique-concentrique standard de presse de jambe (leg press) comparée à des exercices concentriques.

Une action de muscle concentrique arrive principalement quand le muscle se raccourcit pour soulever une charge, tandis qu'une action de muscle excentrique arrive quand le muscle s'allonge pour effectuer un mouvement comme par exemple, le mouvement en bas d'une extension du biceps, (Paschalis, 2011). Whitehead et al (2001) définissent l'exercice excentrique comme l'exercice où le muscle se contracte en s'allongeant. Une série d'études utilisant une variété de manipulations expérimentales a démontré l'effet de la contractions excentriques sur l'amélioration des caractéristiques contractiles et la taille de muscle chez des humains (Elizabeth et al ,1996; Hather 1991; Hortoba 1996).

La compréhension et la communication des nouveautés de la recherche physiologique présentent un support aux entraîneurs pour changer les méthodes d'entraînement existantes, vue que le coté physique est une composante parmi d'autres qui influencent la performance au soccer.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

3.1 Introduction

Notre objet de recherche porte sur l'amélioration de l'économie à la course et l'explosivité chez les joueurs de soccer suite à deux programmes de six semaines d'entraînement, l'un en pliométrie et l'autre en musculation. Pour l'étude de ces aspects, nous allons faire des tests de laboratoires et des tests de terrain. En laboratoire nous allons mesurer la VMA, une semaine après nous mesurerons l'économie à la course à une intensité de 90% de la VMA pendant 4 mn, et elle sera définie comme le VO_2 consommé durant les dernières 60s des 4 mn de l'effort. Dans la semaine qui suit le test sous maximal de laboratoire, nous ferons le test maximal de terrain, le yo-yo IR2, Concernant l'explosivité nous allons faire les tests de détente verticale au moyen de l'accéléromètre Myotest. Deux genres de sauts seront faites le "Squat Jump" et le "Counter Mouvement Jump". Dans le même contexte deux autres tests de terrain seront exécutés, un pour mesurer la vitesse sur 10 m et l'autre de 20 m plat.

3.2 Les sujets

Douze joueurs de soccer âgés entre 18 et 25 ans, provenant de l'équipe universitaire de l'UQAM ont été invités à participer à notre étude. La moyenne d'âge des sujets est de 23 ± 2.65 (moyenne \pm écart type) ans, celle de la taille est de 176 ± 7.39 cm et le poids moyen de tous les joueurs est de 72 ± 8.70 kg. Aucun des sujets ne présentait de symptômes dysfonctionnels du système locomoteur ou cardio-pulmonaire. Ces critères répondait à ceux utilisés dans la littérature (Bangsbo, 2008 ; Chamari et al, 2004 ; Helgerud, 2001). Tout les participants étaient informés du protocole de l'expérimentation et ont signé un consentement de participation. Notre étude était organisée dans le respect des règles du

comité d'éthique de l'UQAM. Par la suite les 12 participants ont été séparés en 2 groupes, les caractéristiques anthropométriques sont présentées au tableau 1.

Tableau 3.1 Caractéristiques physiques des participants (moyennes et écart types)

	MUSCULATION	PLIOMETRIE
Âge	20.21± 2.36	21.25± 2.87
Tailles (cm)	178.25± 8.26	173.88± 6.83
Poids (Kg)	66.55± 6.63	72.02± 11.47
VMA	16.50± 0.58	17.25± 0.95
VO2 max	57.75± 2.02	60.38± 3.35

3.3 Critères d'inclusion

Tous nos sujets étaient des joueurs de soccer universitaires âgé entre 18 et 26 ans qui n'ont jamais subis de blessures graves au niveau des membres inférieurs, tels que la rupture des ligaments croisés, rupture du tendon d'Achille ou des déchirures musculaires à répétitions.

3.4 Critères d'exclusion

Tout joueur ayant un antécédent de blessure grave ou il participe à des activités sportives pouvant nuire à la collecte des données est exclus de l'étude.

3.5 Aspects déontologiques et consentement :

Tous les participants à notre étude étaient informés des buts, des bénéfices et des risques de l'étude. Une signature du consentement de participation a été exigée. Toute notre étude était organisée dans le respect des règles du comité d'éthique de l'UQAM.

3.6 Le schéma expérimental

Pour le schéma expérimental, notre population fût répartie en 2 groupes de façon aléatoire (tableau 1). Un groupe de musculation (Musc) et un groupe de pliométrie (PLIO). Le groupe Musc a fait trois séances entraînements de soccer par semaine dont deux incluant de musculation, tandis que le groupe (PLIO) a fait le même programme avec un entraînement de pliométrie au lieu de celui de la musculation.

3.7 Mesures des variables dépendantes

Nos variables dépendantes étaient

La vitesse maximale aérobie : VMA

Économie à la course : VO_2 à 90% de la VMA pendant 4 mn

Explosivité

Système anaérobie : La capacité du joueur à répéter des efforts intermittents intenses

Le test de lactatémie

La section suivante explique la méthode pour mesurer les variables dépendantes :

3.7.1 Déroulement de l'évaluation de la VMA

Le test commença par 4 minutes d'échauffement à 9 km/h avec 1% de pente. Après les 4 min d'échauffement, nous avons augmenté la vitesse à 12 km/h, puis à chaque minute la vitesse fût augmenté de 1 km/h jusqu'à l'épuisement. La consommation d'oxygène durant l'épreuve de VMA fût mesurée à l'aide d'un analyseur métabolique portable (K4b2, Cosmed, Italie) validé (Jennifer et al ,2010). Une fois que la Vitesse Aérobie Maximale (VMA) est atteinte, le test est fini par 3 min de récupération à 9 km/h.

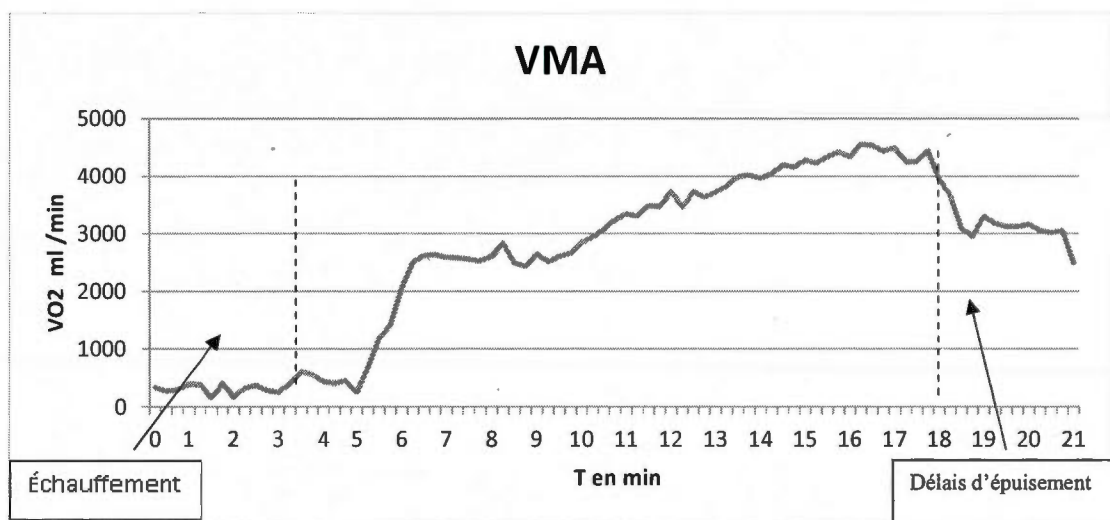


Fig 3.1 : Représentation schématique d'un exemple du test maximal fait avec un joueur de soccer universitaire.

3.7.2 Économie à la course: Test sous-maximal

Une semaine après le test maximal, nous avons effectué le test sous-maximal. La mesure de l'économie de course était faite à une intensité de 90% de la VMA pendant 4 mn. Une mesure à l'aide d'analyseur métabolique portable (K4b2, Cosmed, Italie) a été utilisée durant l'épreuve et la dernière minute (minute 3-4) a été retenue pour la mesure de l'économie à la course (Fig 6).

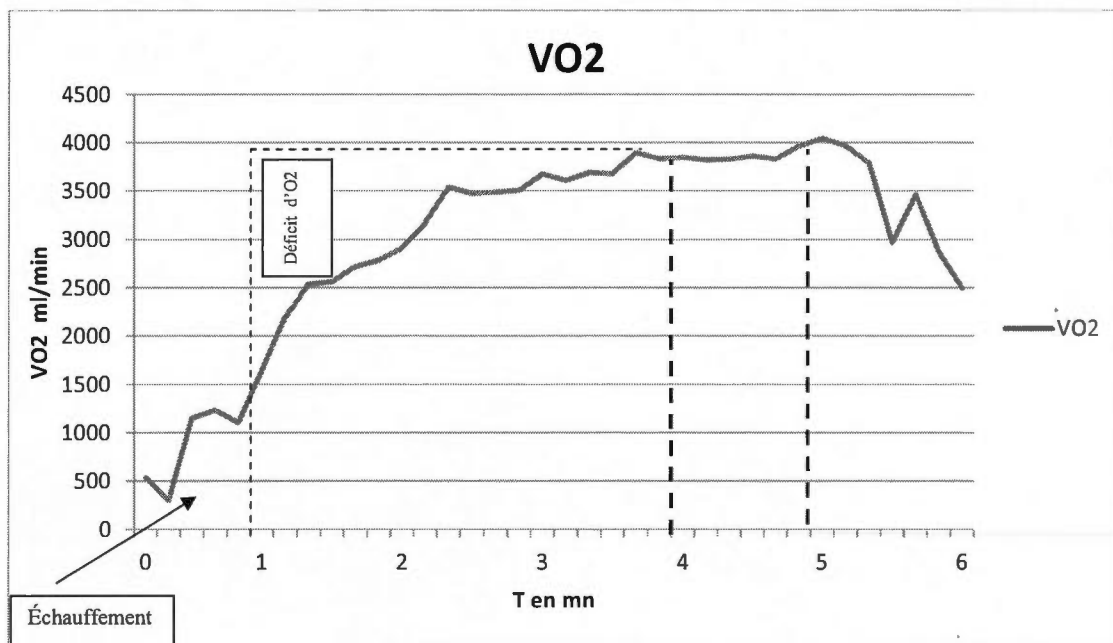


Fig 3.2 : Représentation schématique du test sous-maximal fait avec un joueur de soccer universitaire (long trait pointillé verticale représente la zone où la VO_2 fut mesurée (plateau entre les 2 tirées)).

3.7.3. Tests d'explosivité

3.7.3.1 Test de détente verticale

Pour la mesure de la détente verticale, nous avons utilisé un accéléromètre (Myotest SA, Sion, Switzerland) valide (Casartelli et al, 2010) qui permet de connaître la puissance, la vitesse et la force impliquée dans un mouvement dynamique en chaîne ouverte ou fermée. Après 15 minutes d'échauffement individuel sur un vélo ergométrique (Monark modèle 818, Stockholm, Finlande) à une basse intensité, les joueurs ont fait des sessions de test de saut préparatoires. Ils ont exécuté des sauts sous maximaux comme échauffement supplémentaire spécifique. Deux genres de sauts étaient faites, le "squat jump" (SJ) et le saut de contremouvement (CMJ). Deux essais de chaque type de saut étaient

permis, la meilleure performance était retenue pour l'analyse. Tous les sauts étaient exécutés en gardant les mains aux hanches pour éviter l'influence des membres supérieurs sur la performance du saut.

Les joueurs ont exécuté le "Squat jump", en commençant d'une position des genoux fléchis à 90 degrés, et ont sauté ensuite le plus haut possible en évitant l'abaissement des genoux ou du tronc.

Les sauts de contremouvement étaient exécutés en commençant de la même position que le "squat jump" mais avec une action préparatoire, rapide, excentrique vers le bas. Chaque sujet a essayé de sauter le plus haut possible.

3.7.3.2 Tests de vitesse

Deux tests de sprint de 10 m et de 20 m étaient exécutés 30 minutes après la session des tests des sauts (Impellizzeri, 2008), et après un deuxième échauffement consistant à des courses d'intensités basses. Deux essais pour chaque test étaient fait, avec une période de récupération passive complète entre les sprints. Le temps du sprint a été enregistré avec deux photocellules télémétriques (Microporte, Bolzano, Italie) placé au début et à la fin des lignes des deux distances de course.

3.7.4 Test maximal de terrain

3.7.4.1 Yo-yo intermittent test

Il a été démontré que la performance au soccer est associée à la quantité de course de haute d'intensité exécuté au cours du jeu. Donc, à un tel sport, il semble logique d'évaluer la capacité des athlètes à faire, à plusieurs reprises, des efforts intenses et avec un potentiel pour se remettre de tels exercices. Basé sur ce raisonnement, le Yo-yo intermittent test a été développé (Krustrup, 2003)

Le déroulement du test a été inspiré de celui de 20 m navette de Luc Leger. Comme dans le test progressif de Leger, les participants au Yo-yo IR test exécutent des navettes de 20m avec une augmentation progressive de vitesse. Cependant, chaque deux navettes sont suivies d'une période de récupération de 10 secondes (Bangsbo, 2008). Le test peut être exécuté à deux niveaux différents avec des profils de vitesse différents, le niveau 1, le yo-yo intermittent test RI et le niveau 2, le yo-yo intermittent test RII.

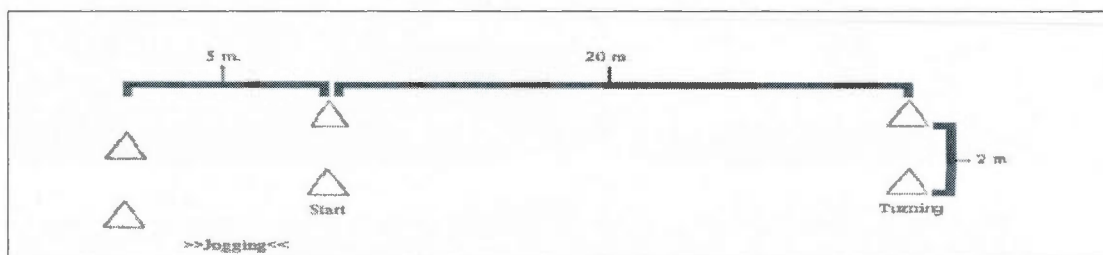


Fig 3.3: Schéma représentatif du Yoyo intermittent test

Le Yoyo intermittent R2

Le Yo-yo IR2 dure de 5 à 15 minutes et vise à évaluer la capacité de la personne entraînée à exécuter des courses intenses répétées avec une production d'énergie aérobie proche de la maximale que de l'énergie anaérobie. Le test consiste en 2 répétitions de courses de 20 m, dans les deux sens, entre le départ, demi-tour et ligne d'arrivée à une vitesse progressivement contrôlée par les bips audio d'un magnétophone. Entre chaque course, les sujets ont une période de 10 secondes de repos active,

consistant en 2 X 5 m de jogging. Quand les sujets échouent deux fois à atteindre la ligne d'arrivée à temps, la distance parcourue est enregistrée et représente le résultat du test.

Le test consiste en 1 période de course ("running bouts") à 13 km/h et 1 autre course à 15 km/h, puis 2 courses à 16 km/h, suivie de 3 courses à 16,5 km/h et 4 courses à 17 km/h. Le test continue avec une augmentation de 0.5 Km/h de vitesse après tous les 8 répétitions de courses jusqu'à l'épuisement.

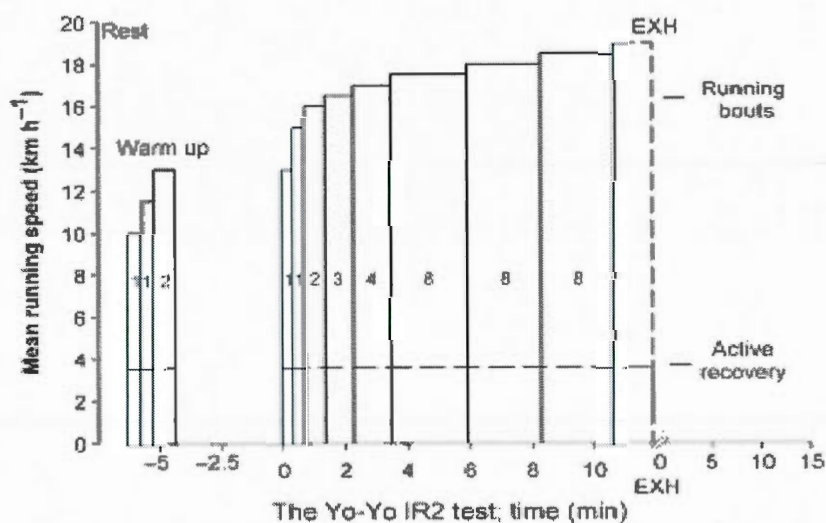


Fig 3.4: Protocole du yoyo intermittent test 2. Krustup (2003)

3.7.4.2 Déroulement du test:

Tous les sujets ont fait un échauffement qui consistait à l'exécution des quatre premières périodes du test ("the first four running bouts"). Le Yo-yo IR2 consiste à répéter deux fois la distance de 20 m en courant à une vitesse progressive contrôlée par des bips audio d'un magnétophone. Entre chaque navette les participants avaient 10 secondes de repos. Quand le participant échouait deux fois à

atteindre la ligne d'arrivée à temps, la distance couverte était enregistrée et représentait le résultat du test.

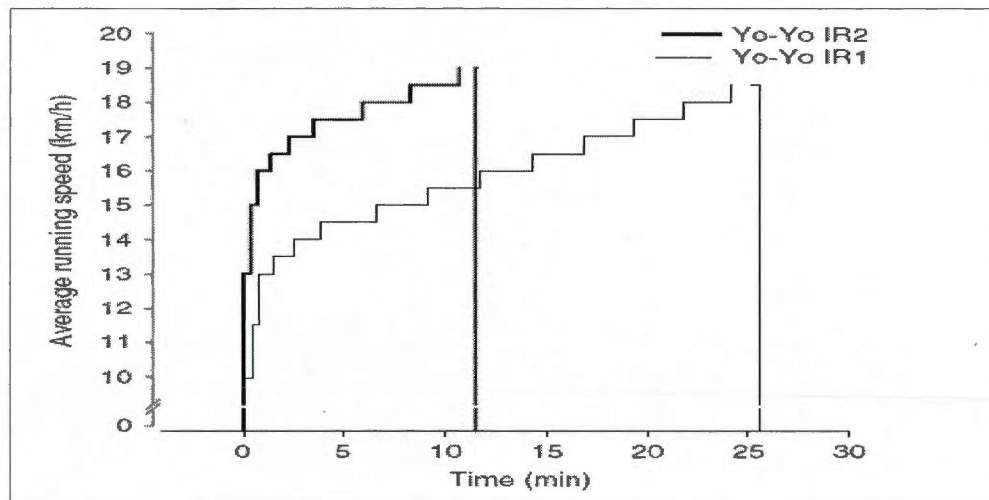


Fig 3.5 : Représentation schématique des tests yoyo intermittent test 1 et 2. Krustup et al (2003)

3.8 Entraînement de pliométrie

Suite à l'évaluation, le groupe (Plio) a effectué 6 semaines d'entraînement de pliométrie plus l'entraînement quotidien de soccer. Le programme de pliométrie s'est composé de 2 sessions par semaine pendant les 3 premières semaines, et de 3 sessions par semaine pendant les 3 dernières semaines. Les exercices représentaient différentes formes de sauts et de bondissement verticaux qu'horizontaux. Au début de chaque session les sujets ont fait un échauffement dynamique de 20 mn suivie d'exercices d'étirement statiques.

Le principe de surcharge progressif était incorporé dans le programme en augmentant le nombre de contact pied-sol et en variant la complexité des exercices. Pour tous les exercices, les sujets étaient instruits à faire des efforts maximaux avec des temps de contact avec le sol minimaux.

3.8.1 Le programme de pliométrie

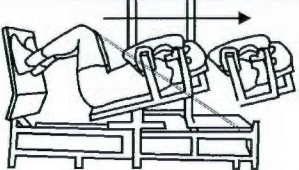
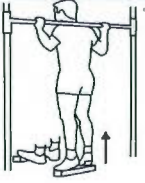

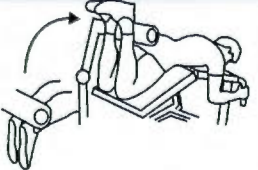



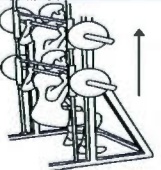
Tableau 3.2 : Programme d'entraînement de pliométrie de six semaines, (exemple. 2x10 = 2 sets de 10 répétitions) (Spurrs et al, 2003)

Week/session	Squat jump	Split scissor jump	Double leg bound	Alternate leg bound	Single leg forward hop	Depth jump	Double leg hurdle jump	Single leg hurdle hop	Total contacts
1/1	2x10	2x10	2x10						60
1/2	2x10	2x10	2x10						60
2/1	2x10	2x10	2x10	2x10					100
2/2	2x10	2x10	2x10	2x10					100
3/1		2x12	2x12	2x12	2x10				136
3/2		2x12	2x12	2x12	2x10				136
4/1			3x10	3x10	2x12	2x6			150
4/2			3x10	3x10	2x12	2x6			150
4/3			3x10	2x15	3x10	2x8			156
5/1				2x15		2x8	2x10	2x10	136
5/2				3x15		2x10	2x10	2x10	170
5/3				3x15		2x10	2x10	2x10	170
6/1					3x10	3x10	3x10	3x10	180
6/2					2x15	3x10	3x10	3x10	180
6/3					2x15	3x10	3x10	3x10	180

3.8.2 Entraînement de musculation

Suite à l'évaluation, le groupe (Musc) a effectué 6 semaines d'entraînement de résistance plus l'entraînement quotidien de soccer. Le programme de musculation s'est composé de 2 sessions par semaine pendant les 3 premières semaines, et de 3 sessions par semaine pendant les 3 dernières semaines. Le tableau 3 présente le programme d'entraînement en musculation qui fût adopté de Walsh (2003). Le programme contenait des exercices de presse inclinée, d'extension de mollet, d'extension des jambes, une station de barre soulevé, des demi-squats et des exercices pour les adducteurs. Au début de chaque session les sujets ont fait un échauffement dynamique de 20 mn suivie d'exercices d'étirement statiques.

Tableau 3.3 : Entraînement de musculation (Walsh et al (2003), modifié)

exercices		répétitions	repos(s)	Tempo
1	Presse inclinée	3 X 6 - 8	90	1-0-2
2	Extension des mollets	3 X 6 - 8	90	1-0-2
3	Extension des jambes	3 X 6 - 8	90	1-0-2
4	Flexion des jambes	3 X 6 - 8	90	1-0-2
5	Arraché	3 X 6 - 8	90	1-0-2
6	adducteurs	3 X 6 - 8	90	1-0-2
7	Extension des mollets	3 X 6 - 8	90	1-0-2
8	Demi-squats	3 X 6 - 8	90	1-0-2
				
1		2	3	4
				
5		6	7	8

3.9 Quantification et analyse

Les données sont présentées comme moyennes \pm écart-type (ÉT). Un modèle groupes (témoin vs expérimental) par tests avec mesures répétées sur les tests, c'est-à-dire un modèle factoriel avec blocs réduits (Kirk, 1992) fût appliqué afin de soulever les différences significatives entre le groupe témoin et le groupe expérimental sur les tests. Le niveau de probabilité significativement différent a été fixé à $p < 0.05$. Les analyses spécifiques pour chaque variable sont présentées dans les sections suivantes. Pour analyser les données nous avons fait recours au logiciel statistique SPSS Version.16 (SPSS Inc, Chicago, IL).

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

Dans la partie suivante, toutes les interactions entre les variables choisies pour l'étude et les deux méthodes d'entraînement (pliométrie, musculation) sont présentées (Tableau 4). D'abord la détente verticale représentée par le SJ et le CMJ, en suite la vitesse sur 10 et 20 m, puis la lactatémie sanguine et le yo-yo test2, pour finir avec la Vo2 absolue et relative.

Tableau 4.1 Les variables dépendantes pré et post intervention (n=4)

Variable	Pliométrie		Musculation	
	Pré	Post	Pré	Post
SJ (cm)	29.2±3.45	31.2±1.82	29.9±5.99	31.2±4.40
CMJ (cm)	34.0±3.32	35.3±1.92	37.3±5.19	36.0±4.46
SJVél (cm/s)	242.5±27.81	254.5±12.12	252.8±26.27	249.5±25.99
CMJVél (cm/s)	227.8±23.87	209.0±8.12	265.0±29.17	262.5±15.15 [§]
SJPui (w/kg)	48.5±6.64	49.05±3.33	53.25±8.04	51.07±7
CMJpui (w/kg)	42.32±9.26	51.1±28.3	59.40±12.93	54.97±5.10
SJfor (N/kg)	25.45±2.21	28.22±3.49*	25.32±2.54	27.65±2.38*
CMJfor (N/kg)	24.22±2.83	29.87±7.53*	23.02±1.18	27.80±2.20*
V 10m (s)	1.79±0.08	1.87±0.04	1.78±0.11	1.84±0.04
V 20m (s)	3.17±0.13	3.10±0.08	3.17±0.05	3.08±0.10
Lactate (mmol)	8.47±1.30	8.27±2.25	7.82±2.72	7.67±2.08
Yo-yo IRT 2 (m)	1230±88.69	1010±105.198	1060±189.032	1030±185.831
Vo2 abl (ml/min)	2879.25±11.84	3834.18±669.38*	2664.81±479.99	3670.62±216.09*
Vo2 rl (ml/kg/min)	39.795±11.843	52.65±2.95*	36.256±6.788	49.96±7.07*

Valeurs en moyenne ±SD ; * différence significative Pré vs Post; § différence significative Pliométrie vs Musculation; SJ, Squat Jump; CMJ, Counter Movement Jump; SJVél, Squat Jump vélocité; CMJVél, Counter Movement Jump vélocité; SJPui, Squat Jump puissance ; CMJpui, Counter Movement Jump puissance ; SJfor, Squat Jump force ; CMJfor, Counter Movement Jump force ; V 10m, Vitesse 10m ; V 20m, Vitesse 20m ; Lactate, Lactatémie sanguine ; Yo-yo IRT 2, Yo-yo intermittent recovery test 2 ; Vo2 abl, consommation d'oxygène absolue ; Vo2 rl, consommation d'oxygène relative.

4.1 La détente verticale

Les variations au niveau de la performance de la détente verticale sont présentées dans le tableau 4. Les variables présentées sont la hauteur du saut en cm, la vitesse en cm/s, la puissance en w/kg et la force en N/kg.

Le tableau 4 illustre que les hauteurs atteintes au saut vertical SJ pré-entraînement (PRE) étaient de $29,2 \pm 3,45$ cm et de $29,9 \pm 5,99$ cm pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.054$, $p=0.824$). Les hauteurs atteintes au saut vertical SJ post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.937$, $p=0.370$) pour les deux groupes (PRE SJ vs POST SJ), respectivement, et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $31,2 \pm 1,82$ et $31,2 \pm 4,40$ cm, respectivement, $F=0.022$, $p=0.888$)

Les hauteurs atteintes au saut vertical CMJ pour les deux groupes (pliométrie et musculation) pré et post entraînement (PRE et POST, respectivement). Les hauteurs PRE sont $34,0 \pm 3,32$ et $37,3 \pm 5,19$ cm pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement (différence non-significative, $F=0.607$, $p=0.465$). Après l'entraînement (POST), aucune amélioration significative ($F=0.00$, $p=0.994$) fût observée ($35,3 \pm 1,92$ et $36,0 \pm 4,46$ cm pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement) et la différence entre les deux groupes post-entraînement n'était pas significative ($F=0.856$, $p=0.391$).

Les vitesses atteintes au saut vertical SJ pré-entraînement (PRE) étaient de $242,5 \pm 27,81$ cm/s et de $252,75 \pm 26,27$ cm/s pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=1.777$, $p=0.231$). Les hauteurs atteintes au saut vertical SJ post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.585$, $p=0.473$) pour les deux groupes (PRE SJ vs POST SJ), respectivement, et ni entre les deux

groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $254,5 \pm 12,12$ et $249,5 \pm 25,99$ cm/s, respectivement, $F=0.027$, $p=0.874$).

Les vitesses atteintes au saut vertical CMJ pré-entraînement (PRE) étaient de $227,75 \pm 23,87$ cm/s et de $265 \pm 29,17$ cm/s pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.452$, $p=0.526$). Les hauteurs atteintes au saut vertical CMJ post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.773$, $p=0.413$) pour les deux groupes (PRE CMJ vs POST CMJ), respectivement, par contre entre les deux groupes la différence était significative (POST Pliométrie vs POST musculation, $209 \pm 8,12$ et $262,5 \pm 15,15$ cm/s, respectivement, $F=29.968$, $p=0.002$).

Les puissances atteintes au saut vertical SJ pré-entraînement (PRE) étaient de $48,5 \pm 6,64$ w/kg et de $53,25 \pm 8,04$ w/kg pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=1.165$, $p=0.322$). Les hauteurs atteintes au saut vertical SJ post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.414$, $p=0.544$) pour les deux groupes (PRE SJ vs POST SJ), respectivement, et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $49,05 \pm 3,33$ et $51,07 \pm 7$ w/kg, respectivement, $F=0.587$, $p=0.473$).

Les puissances atteintes au saut vertical CMJ pré-entraînement (PRE) étaient de $42,32 \pm 9,26$ w/kg et de $59,40 \pm 12,93$ w/kg pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=1.046$, $p=0.346$). Les hauteurs atteintes au saut vertical CMJ post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.114$, $p=0.748$) pour les deux groupes (PRE CMJ vs POST CMJ), respectivement, et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $51,1 \pm 28,3$ et $54,97 \pm 5,10$ w/kg, respectivement, $F=0.173$, $p=0.320$).

Les forces atteintes au saut vertical SJ pré-entraînement (PRE) étaient de $25,45 \pm 2,21$ n/kg et de $25,32 \pm 2,54$ n/kg pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les

groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.92$, $p=0.772$). Les hauteurs atteintes au saut vertical SJ post entraînement (POST) étaient significativement plus élevées ($F=11.852$, $p=0.014$) pour les deux groupes (PRE SJ vs POST SJ), respectivement. Entre les deux groupes la différence n'était pas significative (POST Pliométrie vs POST musculation, $28,22 \pm 3,49$ et $27,65 \pm 2,38$ n/kg, respectivement, $F=0.039$, $p=0.849$).

Les forces atteintes au saut vertical CMJ pré-entraînement (PRE) étaient de $24,22 \pm 2,83$ n/kg et de $23,02 \pm 1,18$ n/kg pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0,090$ $p=0.774$). Les hauteurs atteintes au saut vertical CMJ post entraînement (POST) étaient significativement plus élevées ($F=12.789$ $p=0.12$) pour les deux groupes (PRE CMJ vs POST CMJ), respectivement. Entre les deux groupes la différence n'était pas significative (POST Pliométrie vs POST musculation, $29,87 \pm 7,53$ et $27,80 \pm 2,20$ n/kg, respectivement, $F=0.396$, $p=0.552$).

4.2 La vitesse

4.2.1 Sprint sur 10 m

Les valeurs atteintes durant les épreuves de vitesse sur 10 m sont présentées au tableau 4.

Les vitesses atteintes aux épreuves de vitesse sur 10 m pré-entraînement (PRE) étaient de $1,79 \pm 0,08$ s et de $1,78 \pm 0,11$ s pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.98$ $p=0.765$). Les valeurs atteintes aux épreuves de vitesse sur 10 m post entraînement (POST) ne présentent aucune amélioration pour les deux groupes, pliométrie et musculation (POST Pliométrie vs POST musculation, $1,87 \pm 0,04$ et $1,84 \pm 0,04$ s, respectivement, $F=0.295$, $p=0.606$).

4.2.2 Sprint sur 20 m

Les valeurs atteintes durant les épreuves de vitesse sur 20 m sont présentées au tableau 4.

Les vitesses atteintes aux épreuves de vitesse sur 20 m pré-entraînement (PRE) étaient de $3,17 \pm 0,13$ s et de $3,17 \pm 0,05$ s pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.020$, $p=0.891$). Les valeurs atteintes aux épreuves de vitesse sur 20 m post entraînement (POST) n'étaient pas significativement plus élevées ($F=1.752$, $p=0.234$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation) et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $3,10 \pm 0,08$ et $3,08 \pm 0,10$ s, respectivement, $F=0.34$, $p=0.860$).

4.3 La lactatémie sanguine

Les valeurs de la lactatémie sanguine sont présentées au tableau 4.

Les niveaux de lactatémie pré-entraînement (PRE) étaient de $8,47 \pm 1,30$ mmol et de $7,82 \pm 2,72$ mmol pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.001$, $p=0.982$). Les valeurs post entraînement (POST) atteintes n'étaient pas significativement plus élevées ($F=0.028$, $p=0.872$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation) et ni entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $8,27 \pm 2,25$ et $7,67 \pm 2,08$ mmol, respectivement, $F=0.316$, $p=0.594$).

4.4 Le Yo-yo intermittent test 2

Les valeurs de la performance au yoyo intermittent test sont présentées au tableau 4.

Les valeurs de la performance au yoyo test pré-entraînement (PRE) étaient de $1230 \pm 88,69$ m et de $1060 \pm 189,032$ m pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=7.573$, $p=0.33$). Les valeurs post entraînement (POST) atteintes étaient significativement plus élevées ($F=13.112$, $p=0.011$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation), par contre entre les deux groupes la différence ne l'est pas. (POST Pliométrie vs POST musculation, $1010 \pm 105,198$ et $1030 \pm 185,831$ m, respectivement, $F=0.565$, $p=0.481$).

4.5 La consommation d'oxygène

Les valeurs de consommation d'oxygène, absolues que relatives, sont présentées au tableau 4.

Les niveaux du VO₂ absolue pré-entraînement (PRE) étaient de $2879,25 \pm 11,84$ ml/min et de $2664,812 \pm 479,992$ ml/min pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.281$, $p=0.651$). Les valeurs post entraînement (POST) atteintes étaient significativement plus élevées ($F=15.945$, $p=0.007$) pour les deux groupes (pliométrie vs musculation). Toutefois, la différence entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $3834,18 \pm 669,38$ et $3670,62 \pm 216,09$ ml/min, respectivement, n'était pas significative ($F=0.011$, $p=0.921$)).

Les niveaux du VO₂ relatif pré-entraînement (PRE) étaient de $39,795 \pm 11,843$ ml/min/kg et de $36,256 \pm 6,788$ ml/min/kg pour le groupe pliométrie et le groupe musculation, respectivement. La différence entre les groupes avant l'entraînement (PRE) n'est pas significative ($F=0.584$, $p=0.474$). Les valeurs post entraînement (POST) atteintes n'étaient pas significativement plus élevées ($F=12.590$, $p=0.012$)).

pour les deux groupes (pliométrie vs musculation). Toutefois, la différence entre les deux groupes (POST Pliométrie vs POST musculation, $52,65 \pm 2,95$ et $49,96 \pm 7,07$ ml/min/kg, respectivement, n'était pas significative ($F=0.013$, $p=0.914$).

CHAPITRE V

DISCUSSION

5.1 Discussion

Contrairement à nos attentes, aucune amélioration significative a été observée au niveau de l'explosivité chez nos groupes suite aux deux méthodes d'entraînement, pliométrie et musculation. Le tableau 4 présente nos résultats. La littérature égorge de papiers qui ont traité l'effet de l'entraînement en résistance et l'entraînement de pliométrie sur la détente verticale. La performance de la détente verticale semble influencer énormément le rendement des joueurs. Canavan (2004) mentionne que la puissance des membres inférieurs, et en particulier la détente verticale, est considérée comme un élément crucial pour la performance athlétique. Il est reconnu qu'à la suite d'un entraînement de pliométrie, l'amélioration de la puissance musculaire est due à plusieurs facteurs tels que, l'amélioration du patron ("patterns") de recrutement des unités motrices (Potteiger, 1999), la préactivation et la coactivation des muscles ainsi qu'à la synchronisation de l'activation des muscles agonistes et antagonistes (Chimera, 2004):

Behm (1993) présente que la capacité du muscle à développer la force est dépendante de beaucoup de facteurs différents tels que la position initiale des membres en action, la vitesse d'étirement du muscle, ainsi que la vitesse de la contraction, les types de fibres du muscle. Encore, le nombre d'unités motrices activées en même temps, la surface de la section transversale du muscle, la fréquence d'impulsion et le substrat disponible pour l'exercice du muscle influencent le rendement musculaire. Dans notre cas, ces effets ne sont pas produits. Il est à noter que notre intervention s'est déroulée pendant la période compétitive où les joueurs participaient à la saison universitaire et le facteur fatigue aurait pu jouer un rôle essentiel sur nos résultats.

Les valeurs de la consommation d'oxygène, absolues et relatives, durant les épreuves d'économie à la course sont présentées au tableau 4. Contrairement à nos attentes les différences de la consommation d'oxygène après l'entraînement soit en musculation ou pliométrie ne sont pas significativement différentes. Toutefois, les deux groupes ont montré une légère amélioration de la consommation d'oxygène peu importe la modalité d'entraînement. Cette absence de modification de la consommation d'oxygène durant les épreuves d'économie à la course peuvent s'expliquer de différentes façons. Premièrement, l'épreuve que nous avons utilisée exigeait que les participants soutiennent pendant quatre minutes une vitesse de course fixée à 90% de la VO₂ max. Peut être courir à 90% de la VO₂ max est très élevé et que nous aurions dû mesurer à 60% ou 70% de la VO₂ max. Du fait, Robert (2003) a mesuré l'économie à la course, suite à un entraînement de pliométrie de six semaines avec des coureurs de demi-fond, à une intensité proche des 70% de la VO₂max et il a trouvé une amélioration de 6% de l'économie à la course.

Ceci peut aussi s'expliquer par le phénomène de la distribution des types de fibre musculaire chez nos sujets. Il est connu que les caractéristiques de la performance musculaire des joueurs de soccer sont déterminées par la distribution des différents types de fibres, les fibres rapides et les fibres lentes (Reilly, 1996). La distribution des types de fibres musculaires chez des joueurs de soccer danois sont de 48.5% de type I, 44.1% de type IIa et de 7.4 de type IIb (Bangsbo et Mizuno, 1988). Saunders et al, 2004, présente de nombreux facteurs physiologiques et biomécaniques qui influencent l'économie à la course chez les coureurs élités. Ceux-ci incluent des adaptations métaboliques dans le muscle comme l'augmentation du nombre des mitochondries et des enzymes oxydatives, la capacité des muscles à stocker et sortir l'énergie élastique en augmentant la rigidité du muscle et l'efficacité mécanique menant à moins d'énergie consommée. Williams et Cavanagh (1987) ont constaté qu'une meilleure économie de course chez des coureurs de distance élités masculins a été associé à la grandeur de la foulée, à un sommet de force vertical inférieur et à un temps de contact avec le sol plus court. Robert (2003) a remarqué un changement de 4 % de l'économie à la course, à une vitesse de 16 km /h. Il a mentionné que le mécanisme derrière ce changement pouvait être le résultat d'une amélioration de la rigidité musculaire-tendineuse des membres inférieurs, suite à l'entraînement de pliométrie, qui a

mené à l'amélioration de la force de réaction et à un coût énergétique de course moindre. Donc, dans notre cas l'absence d'une amélioration de l'économie de course s'explique mieux par un protocole d'évaluation trop exigeant (près du maximum, c.-à-d., 90% de la $VO_2\text{max}$) qu'une distribution de type de fibres musculaires différentes des autres athlètes similaires et qu'il aurait été préférable d'évaluer à une valeur près de 60 ou 70% du $Vo_2\text{max}$, tel que proposé par Robert (2003).

Les valeurs atteintes durant les épreuves de vitesse sur 10 m sont présentées au tableau 4. Dans notre intervention les résultats post entraînement n'ont pas montré une différence significative. Nos résultats s'aligne avec ceux de Frit (1991) et de Wilson (1993) qui ont déduit que les effets de la pliométrie sur la vitesse ne sont pas cohérents et que les résultats ne montrent aucune amélioration du temps de sprint suite à un programme d'entraînement à la pliométrie. La pliométrie est le type d'entraînement qui développe la capacité des muscles à produire de la force à de haute vitesse et la puissance, dans des mouvements dynamiques; ces mouvements impliquent un étirement du muscle suivi immédiatement par une contraction explosive (Edwin, 2000). Plusieurs études ont suggéré que l'entraînement de pliométrie puisse améliorer la capacité de réaliser des sprints, parce que l'utilisation du cycle étirement-raccourcissement pendant les exercices de pliométrie a montré avoir une relation significative avec la performance en 30 m et avec les temps de sprint de 40 m (Nesser et al, 1996).

Nos résultats pouvaient être en relation avec le transfert de l'entraînement de pliométrie à la vitesse. Il est probable que les améliorations de sprint arriveront à la vitesse d'action du muscle qui est proche de celle employée dans les exercices de pliométrie. Dans notre étude nous avons utilisé des exercices à une intensité moyenne. Il est probable que les taux auxquelles les forces sont produites par les muscles dans les actions excentriques et concentriques dans les exercices de pliométrie rapprochent ceux dans le sprint. Il se peut que notre choix de la cadence des exercices nous ait ramené à de tels résultats. Kotzamanidis (2006) a déduit suite à son programme d'entraînement qui a duré 10 semaines et a inclus des divers types de sauts, qu'au début de l'intervention il n'y avait aucune différence significative entre les groupes, mais après le programme d'entraînement, les comparaisons intergroupe

montrent que le groupe de pliométrie s'est amélioré significativement sur les distances intermédiaires de 0-10, 10-20 et 20-30 m et 0-30 m .

Et en se référant à la littérature (Bangsbo, 2008) et vue que le soccer est un sport à caractéristiques intermittentes, dans lequel les systèmes aérobiques et anaérobiques contribuent à la production d'énergie et dans le but d'évaluer la capacité d'endurance spécifique des joueurs, nous avons utilisé dans notre étude le test de yoyo IR2. La performance des athlètes dans le yoyo test varie selon le niveau de leur expertise et selon le poste joué (Krustrup, 2003). Des joueurs de soccer masculins élités, jouant dans des championnats au plus haut niveau national, avait un niveau de performance plus haut que d'autres joueurs élite jouant à un niveau inférieur (Bangsbo, 2008). Dans son étude, Krustrup (2006) a déduit que le joueur international élite a une performance de 37 % plus élevée que le joueur de la deuxième division, 1059 ± 35 vs 771 ± 26 m, respectivement.

Dans cette étude les niveaux de lactatémie pré et post entraînement n'ont pas été affecté par les modalités d'entraînement. Dans la littérature, plusieurs papiers ont présenté l'étude du métabolisme lactique. Selon Gentil et al (2006) toutes les méthodes d'entraînement de résistance augmentent significativement le niveau du lactate sanguin par rapport à celui de repos. Thomas (2001) a conclu suite à un entraînement de musculation que les concentrations de lactate ont augmenté dans tous les exercices à un degré significatif au-dessus de la valeur de repos. De même il a constaté que l'augmentation était significativement plus haute dans tous les exercices concentriques que dans les exercices excentriques. Sur la ligne même d'idée, Daniel et al (2003) remarquent suite à leur étude sur huit hommes ayant de l'expérience à l'entraînement de résistance que le niveau de lactate augmente tant pendant les essais concentrique que pendant ceux excentrique avec une augmentation plus évidente aux essais concentriques. Les prélèvements pris immédiatement après l'intervention et ceux pris 15 minutes après l'exercice ont révélé un effet significatif ($P < 0.0001$) avec l'exercice concentrique du niveau de lactate que l'exercice de résistance excentrique. Cette augmentation de lactate peut s'expliquer par le recrutement du métabolisme anaérobie lactique. En effet, il est bien connu que la glycogène est dépendante de la phosphorylase, qui est contrôlé par le médiateur hormonal extra

cellulaire l'épinéphrine et l'intra cellulaire l'AMP cyclique. Au debut de l'exercice intense l'organisme fait recours au métabolisme anaérobie pour la contraction des muscles.

5.2 Limites

Les principales limites que nous avons rencontrées se résument, premièrement dans la difficulté à garder les participants vue qu'ils avaient d'autres engagements tels que le travail et les études, deuxièmement dans le petit nombre de participants ($n= 4/$ groupe) qui ont suivis l'étude au complet qui revient aux blessures contractées lors de la compétition et troisièmement le facteur de la fatigue vue que notre étude s'est déroulée durant la période compétitive et que nos joueurs n'ont pas bénéficié de la récupération nécessaire pour éviter les blessures.

5.3 Conclusion

Les résultats attendus de l'étude était de démontrer l'effet de deux méthodes d'entraînement de la force, pliométrie et musculation, sur la performance de joueur de soccer.

Le régime d'entraînement suivi dans notre étude était basé sur la recherche des adaptations neuraux-musculaires et sur l'hypertrophie musculaire. De telles qualités sont nécessaires et avantageuses pour jouer le soccer à un niveau élite. Le petit nombre de participants a influencé nos résultats, nous avons commencé notre étude avec quatorze joueurs et seulement huit ont suivie tout le programme d'entraînement. Le reste des joueurs ont abandonné suite à des blessures dans la compétition. Cela peut nous éclaircir sur le choix de la période d'expérimentation lors d'études futures auprès d'athlètes universitaires.

D'un point de vue pratique, ces informations sont importantes pour les entraîneurs afin qu'ils ajustent leurs programmes d'entraînements et se concentrent sur les variables qui sont spécifiques pour améliorer la performance et réaliser le succès avec leurs équipes. Il est évident que la capacité physique des joueurs de soccer influence leurs performances techniques et leurs choix tactiques. Les informations présentées dans notre étude peuvent donner aux entraîneurs un grand avantage dans la planification réussie d'une saison et aux chercheurs une ouverture pour revoir les variables que nous avons utilisé dans notre expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdul Rashid Aziz ,Frankie H. Y. Tan and Kong Chuan Teh. 2005. A pilot study comparing two field tests with the treadmill run test in soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine* 4, 105-112
- Abrantes Catarina, Vitor Maças and Jaime Sampaio. 2004. Variation in football players' sprint test performance across different ages and levels of competition. *Journal of Sports Science and Medicine* 3 (yisi 1), 44-49
- Adamantios arampatzis, gianpiero de monte, kiros karamanidis, Gaspar morey-klapsing, savvas stafilidis and gert-peter brüggemann. 2006. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. *the journal of experimental biology* 209, 3345-3357 published by the company of biologists.
- Ademola olasupo abass. 2009. Comparative effect of three modes of plyometric training on leg muscle strength of university male students. *European Journal of Scientific Research*. Vol.31 no.4 .577-582.
- Amanda m. Turner, matt owings, and james a. Schwane. 2003. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of strength and conditioning research*, 17(1), 60-67
- Anderson t. 1996. Biomechanics and running economy. *Sports Med*, 22 (2), 76-89
- Andrew a. Biewener.1998. muscle function *in vivo*: a comparison of muscles used for elastic energy savings *versus* muscles used to generate mechanical power. *amer. Zool*, 38:703-717
- Arnason a, sigurdsson sb, gudmundsson a. 2004 physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med sci sports exerc*; 36 (2): 278-85
- Arnold g nelson david a arnall steven f loy l jay silvester robert k conlee. 1990 consequences of combining strength and endurance training regimens. *Physical Therapynolume* 70, number 5/may
- Asok kumar ghosh.2004. Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *Malaysian journal of medical sciences*, vol. 11, no. 1, january (24-36)
- Avery d.faigenbaum, james e.mcfarland, fred b.keiper, william tevlín. Nicolas a ratamess, jie kang and jay r. Hoffmann.2007. Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *Journal of sports science and medicine*.6.519-525
- Bangsbo jens, magni mohr, & peter krstrup 2006.physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, july; 24(7): 665 – 674
- Bangsbo jens. Marcello iaia,and peter krstrup. 2008. The yo-yo intermittent recovery test:a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports.sports med. 38 (1).1

- Bangsbo, J. and M. Mizuno. Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. 1988. In: *Science and Football*, T. Reilly, A. Less, K. Davids, and W. J. Murphy (Eds), London: E. & F.N. Spon, , pp. 114-124
- Bangsbo j, nørregaard l, thorsøe f. 1991. Activity profile of competition soccer. *Can j sports sci jun*; 16 (2): 110-6
- Bangsbo J. Lindquist F. 1992. Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *Int J Sports Med*.13(2):125-32.
- Bassett, d. R., jr., & howley, e. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 70 – 84.
- Behm DG, Sale DG. 1993. Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*; 15: 374-88.
- Billat, l. V and j. P. Koralsztein. 1996. Significance of the velocity at vo2max and time to exhaustion at this velocity. *Sports med*. 22: 90–108,
- Bosco, komi, pv and ito a 1981, prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta physiol.scand*.111; 135-140.
- Canavan pk, vescovi jd. 2004, evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Med sci sports exerc*; 36:1589–93.
- Cavagna.g. A, m. Mazzanti, n. C. Heglund and g. Citterio.1985.storage and release of mechanical energy by active muscle: a non-elastic mechanism? *J. Exp. Biol.* 115, 79-87
- Cavagna g. A, p. Franzetti, n. C. Heglund and p. Willemstd.1988. the determinants of the step frequency in running,trotting and hopping in man and other vertebrates. *journal of physiology* 399, pp. 81-92
- Cavagna ga .1977. storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc sports sci rev* 5:89-129
- Chamari k, hachana y, ahmed yb, et al. 2004. Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br j sports med*; 38 (2): 191-6
- Chamari k, y hachana, f kaouech, r jeddi, i moussa-chamari, u wisløff. 2005. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br j sports med*;39:24–28. Doi: 10.1136/bjsm.2003.009985 aerobic
- Casartelli, Nicola; Müller, Roland; Maffiuletti, Nicola A. 2010. Validity and Reliability of the Myotest Accelerometric System for the Assessment of Vertical Jump Height. *Journal of Strength & Conditioning Research*.Volume 24. Issue 11.pp 3186-3193
- Chet t. Moritz, spencer m. Greene, and claire t. Farley .2004.neuromuscular changes for hopping on a range of damped surfaces *j appl physiol* 96: 1996–2004

- Christophe cornuá maria-izabel almeida silveira, francis goubel.1997. influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint , *eur j appl physiol* 76: 282-288
- Christopher Del Balso and E. Cafarelli., 2007.Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *J Appl Physiol* 103: 402-411
- Chtara m, k chamari, m chaouachi, a chaouachi, d koubaa, y feki, g p millet, m amri 2005. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity .*br j sports med* 2005; 39:555-560.
- Colliander E, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand* 1990; 140: 31-9
- Cometti.G, N. A. Maffiuletti, M. Pousson, J.-C. Chatard, N. Maffulli. Isokinetic Strength and Anaerobic Power of Elite, Subelite and Amateur French Soccer Players. *Int J Sports Med* 2001; 22: 45-51
- Daniel B. Hollander, Robert J. Durand, James L. Trynicki, Deborah Larock, V. Daniel Castracane, Edward P. Hebert, And Robert R. Kraemer. 2003. RPE, Pain, and Physiological Adjustment to Concentric and Eccentric Contractions.*Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 35, No. 6, pp. 1017-1025.
- Dalleau g, belli a, bourdin m, and al. 1998 the spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur j appl physiol occup physiol*; 77 (3): 257-63
- Davis j, brewer j. Atkin d. 1992. Pre-season physiological characteristics of english first and second division soccer players. *J sports sci*; 10: 541-7
- Di prampero pe, capelli c, pagliaro p, antonutto g, girardis m, zamparo p and soule rg. 1993. Energetics of best performances in middle-distance running. *J.appl.physiol.* 74: 5: 2318-2324.
- Durand RJ, Castracane VD, Hollander DB, et al. 2003. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions *Med Sci Sports Exerc*; 35: 937-43
- Drinkwater.B.L .1973. Physiological Response of Women to Exercise. *Exercise & Sport Sciences Reviews*: - Volume 1 - Issue 1 - 125-154
- Eduardo sa'ez .sa' ez de villarreal.juan jose gonza' lez-badillo.and mikel izquierdo. 2008. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *Journal of strength and conditioning research*.22(3).715-725
- Edwards a.m., n clark, a.m. Macfadyen . 2003. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged_.*Journal of sports science and medicine* 2, 23-29
- Edwin Rimmer And Gordon Sleivert. 2000. Effects of a Plyometrics Intervention Program on Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, , 14(3), 295-301

- Ettema. G.J.C. 1997, mechanical behavior of rate skelatekal muscle during fatiguing stretch-shortening cycles. *experimental physioly*. 82.107-119:
- Elizabeth J. Higbie, Kirk J. Cureton, Gordon L. Warren III, and Barry M. Prior .1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J. Appl. Physiol.* 81(5):2173–2181.
- Franco m. Impellizzeri, ermanno rampinini, & samuele m. Marcora . 2005. Physiological assessment of aerobic training in soccer *journal of sports sciences*,; 23(6): 583 – 592
- F. M. Impellizzeri. S. M. Marcora. C. Castagna. T. Reilly. A. Sassi. F. M. Iaia. E. Rampinini. 2005. Physiological and Performance Effects of Generic versus Specific Aerobic Training in Soccer Players. *Int J Sports Med* © Georg Thieme Verlag KG · Stuttgart · New York
- Fry, A.C, W.J. Kraemer, C.A. Weseman, B.P. Conroy, S.E. Gordon, J.R. Hoffman, And C.M. Maresh. 1991. The effects of an off-season strength and conditioning program on starters and non-starters in women's intercollegiate volleyball. *J. Appl. Sport Sci. Res.* 5:174–181.
- Gabbett, Tim J. 2010. The Development of a Test of Repeated-Sprint Ability for Elite Women's Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. - Volume 24 - Issue 5 - pp 1191-1194
- Gary b. Wilkerson; marisa a. Colston; nancy i. Short; kristina l. Neal; paul e. Hoewischer; jennifer j. Pixley. 2004. Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program. *Journal of athletic training*; 39(1):17–23
- Gentil Paulo, Elke Oliveira, Keila Fontana, Guilherme Molina, Ricardo Jacó De Oliveira And Martim Bottaro. 2006. The acute effects of varied resistance training methods on blood lactate and loading characteristics in recreationally trained men. *Rev Bras Med Esporte* _ Vol. 12, Nº 6.
- Giovanni a. Cavagna, b. Dusman. 1968. Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of applied physiology*. vol 24. N1. January 1968
- Giovanni a. Cavagna, l. Komarek and stefania mazzoleni. 1971. The mechanics of sprint running. *j. Physiol.* (), 217, pp. 709-721
- Goran markovic. 2007. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Sports med.* 41.349–355.
- Hather, B.M., Tesch, P.A., Buchanan, P., and Dudley, G.A. 1991. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol. Scand.* 143(2): 177–185.
- Helgerud j, engen lc, wisløff u, et al. 2001 aerobic endurance training improves soccer performance. *Med sci sports exerc nov*; 33 (11): 1925-31
- Helgerud jan, kjetill hkydal, eivind wang, trine karlsen, pa ° lr berg, marius bjerkaas, thomas simonsen, cecilies helgesen, ninal hjorth, ragnhild bach, and jan hoff. 2007. aerobic high-intensity

- intervals improve $\dot{V}O_{2\max}$ more than moderate training. *the american college of sports medicine* :volume 39(4), pp 665-671
- Helgerud J, Kemi OJ, Hoff J. 2002. Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players. In: Hoff J, Helgerud J, editors. *Football (soccer): new developments in physical training research*. Trondheim: NTNU,; 55-66
- Hoff & helgerud .2004. endurance and strength training for soccer players: *sports med* 34(3).165-80
- Hoff, j, u wisløff, l c engen, o j kemi, j helgerud. 2002. Soccer specific aerobic endurance training. *Br j sports med*;36:218–221
- Hather, B. M., P. A. Tesch, P. Buchanan, And G. A. Dudley. 1991. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol. Scand.* 143:177–185.
- Hortoba' Gyi, T., J. Barrier, D. Beard, et al. 1996. Greater initial adaptations to submaximal lengthening than maximal shortening. *J. Appl. Physiol.* 81:1677–1682,
- Jan Hoff. 2005, Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*,23(6): 573 – 582
- Impellizzeri f m, e rampinini, c castagna, f martino, s fiorini, u wisloff. 2008. effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *British journal of sports medicine.* 42:42–46
- Jared r. Fletcher, shane p. Esaul and brian r. Macintosh. 2009. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake . *j appl physiol*. Doi:10.1152/japplphysiol.00307.2009
- Jennifer A. Schrack, Eleanor M. Simonsick, Luigi Ferrucci. 2010. Comparison of the Cosmed K4b2 Portable Metabolic System in Measuring Steady-State Walking Energy Expenditure. *Plos One* 5(2). Volume 5. Issue 2. e9292
- Jeffrey a. potteiger. Robert h. Lockwood. Mark d. Haub. Brett a. Dolezal. Khalid s. Almuzaini. Jan m. Schroeder. And carlos j. Zebas. 1999. Muscle power and fiber characteristics following 8 weeks of plyometric training. *journal of strength and conditioning research.* 13(3). 275-279
- Jeffery f. Vossen. John f. Kramer. Darren g. Burke. And deborah p. Vossen. 2000. Comparison of dynamic push-up training and plyometric push-up training on upper-body power and strength. *Journal of strength and conditioning research.* 14(3). 248–253
- Jeffrey M. McBride,, J.M., T. Triplett-McBride, A. Davie, And R.U. Newton. 1999. A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters and sprinters. *J. Strength Cond. Res.* 13:58–66.
- Joyner. J. Michael. and edward f. Coyle . 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J physiol* 586.1 pp 35–44

- Jonathan L. Olivera, Neil Armstrongb, Craig A. Williamsb. Relationship between brief and prolonged repeated sprint ability. 2009. *Journal of Science and Medicine in Sport* . 12, 238—243
- Katharina althoff, janina kroiher ,ewald m. Hennig .2010. A soccer game analysis of two world cups: playing behavior between elite female and male soccer players, *footwear science*, vol. 2, no. 1. 51–56
- Kawakami.y, t. Muraoka, s. Ito, h. Kanehisa and t. Fukunaga.2002. *In vivo* muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity.*journal of physiology* 540.2, pp. 635–646
- kotzamanidis Christos.2006. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *Journal of strength and conditioning research*. 20(2). 441–445
- Keitaro kubo, yasuo kawakami, and tetsuo fukunaga.1999. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans,*j appl physiol* 87:2090-2096
- Keith r. Williams and peter r. Cavanagh. 1987 relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J. Appl. Physiol*. 63(3): 1236-1245.
- Kevin thomas.duncan french.and philip r. Hayes.2009. The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *Journal of strength and conditioning research*. 23(1).332–335
- Komi pv, bosco c .1978. utilization of stored elastic energy in leg extensor muscle by men and women. *Med sci sports* 10:261-265
- Komi, p. V. 1984. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc. Sport sci. Rev.* 12. 81–121
- Kotaro sasaki, Richard, r. Neptune .2006. muscle mechanical work and elastic energy utilization during walking and running near the preferred gait transition speed.*gait & posture* 23 383–390
- Keitaro Kubo, Hiroaki Kanehisa, Yasuo Kawakami and Tetsuo Fukunaga. 2001. Influences of repetitive muscle contractions with different modes on tendon elasticity in vivo. *J Appl Physiol* 91:277-282,
- Kyrolainen h, belli a, komi pv. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Med sci sports exerc*; 33 (8): 1330-7
- Kerry P.McEvoy and Robert U.Newton .1998. Baseball throwing speed and base runnig speed: the effects of ballistic resistance training . *J. Strength Cond. Res* ,12(4),216-221
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, Pedersen PK, Bangsbo J. 2003. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc.* Apr; 35(4):697-705.

- Lakomy J, Haydon DT. 2004. The effects of enforced, rapid deceleration on performance in a multiple sprint test. *J Strength Cond Res* 18: 579–583
- Larsen, h. B., christensen, d. L., nolan, t. And sondergaard, h. 2004. Body dimensions, exercise capacity and physical activity level of adolescent nandi boys in Western kenya. *Ann. Hum. Biol.* 31, 159-173
- Lars L. Andersen, Jesper L. Andersen, S. Peter Magnusson, Charlotte Suetta, Jørgen L. Madsen, Lasse R. Christensen, and Per Aagaard. 2005. Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining *J Appl Physiol* 99: 87–94,.
- Laurent malisous.2006.stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *J appl physiology*.100.771-779
- Leatt p, shepard rj, plyley mj. 1987. Specific muscular development in under-18 soccer players. *J sports sci*; 5 (2): 165-75
- Lephart s m , j p abt, c m ferris, t c sell, t nagai, j b myers, j j irrgang.2005. Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *J sports med*.39.932–938.
- Maarten f. Bobbert.2001. dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: a simulation study, *the journal of experimental biology* 204, 533–542
- Magni Mohr, Peter Krustrup, Jens Jung Nielsen, Lars Nybo, Martin Krøyer Rasmussen, Carsten Juel, and Jens Bangsbo . 2007. Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 292: R1594–R1602,
- Manolopoulos E, Papadopoulos C, Kellis E. 2006. Effects of combined strength and kick coordination training on soccer kick biomechanics in amateur players. *Scand J Med Sci Sports*;16:102–10.
- Magni mohr, peter krustrup and jens bangsbo.2003. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*.21. 519–528
- Masaki ishikawa, paavo v. Komi, michael j. Grey, vesa lepola, and gert-peter bruggemann.2005. muscle-tendon interaction and elastic energy usage in human walking. *j appl physiol* 99: 603–608.
- Myer Gregory d., kevin r. Ford, joseph p. Palumbo, and timothy e. Hewett.2005. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 19(1), 51–60
- Mcmillan k, helgerud j, macdonald r, et al. 2005 physiological adaptations to soccer specific endurance training in profession-al youth soccer players. *Br j sports med* , 39 (5): 273-7
- Michael g. Miller , jeremy j. Herniman , mark d. Ricard , christopher c.cheatham and timothy j. Michael. 2006. The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *Journal of sports science and medicine* .5, 459-465

- Nesser Tw, Latin Rw, Berg K, Prentice E. 1996. Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research.*; 10:263-267
- Nicolas babault, gilles cometti .validité du myotest pour l'évaluation de la détente verticale : étude préliminaire .*centre d'expertise de la performance – faculté des sciences du sport, dijon, france*
- Nicole j. Chimera; kathleen a. Swanik; c. Buz swanik;stephen j. Straub,2004. Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. *Journal of athletic training* .39(1):24–31
- Nummela, t. Keränen, l. O. Mikkelsen . 2007 .factors related to top running speed and economy.doi 10.1055/s964896 published online int j sports med © georg thieme verlag kg stuttgart • new york • issn 0172-4622
- Osgnach, c., s. Poser, r. Bernardini, r. Rinaldo, and p. E. Di prampero.2010. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med. Sci. Sports exerc.* Vol. 42, no. 1, pp. 170–178.
- Pasquarelli b.n. a,b, A. L. Santos c, A. Frisselli b,c, A.C. Dourado a,b and L.C.R. Stanganelli. 2010. Relationship between the Bangsbo Sprint Test with sprint, agility, lower limb power and aerobic capacity tests in soccer players.*Rev Andal Med Deporte.*;3(3):87-91
- Paavo v. Komi, 2000, stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of biomechanics* 33 1197-1206
- Paavolainen, Leena, Keijo Hakkinen, Ismo Hamalainen, Ari Nummela, and Heikki Rusko. 1999. Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86(5):1527–1533
- Philo u. Saunders, david b. Pyne, richard d. Telford and john a. Hawley. 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports med*; 34 (7): 465-485
- Rahman rahimi, naser behpur. 2005. The effects of plyometric, weight and plyometric-weight training on anaerobic power and muscular strength. *Physical education and sport* vol. 3, no 1. Pp. 81 – 91
- Raven.P. B, L. R. Gettman, M. L. Pollock, and K. H. Cooper. 1976. A physiological evaluation of professional soccer players. *Br J Sports Med.* December; 10(4): 209–216.
- Reilly. T, A. Less, K. Davids, and W. J. Murphy (Eds), 1988: *Science and Football* London: E. & F.N. Spon, pp. 114-124
- Reinke S, Karhausen T, Doehner W, Taylor W, Hottenrott K, et al. 2009. The Influence of Recovery and Training Phases on Body Composition, Peripheral Vascular Function and Immune System of Professional Soccer Players. *PLoS ONE* 4(3): e4910. doi:10.1371/journal.pone.0004910

- Rich C, Cafarelli E. 2000. Submaximal motor unit firing rates after 8 wk of isometric resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 32: 190–196
- Ronald e . Johnston, timothy j. quinn, robert kertzner, and neil b. Vroman . 1997. strength training in female distance runners : impact on running economy, *journal of strength and conditioning research*, , 11(4), 224- 229
- SALE, D.G. 1987. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15:95–151..
- Sadao kurokawa, tetsuo fukunaga, and senshi fukashiro, 2001, behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. *J appl physiol* 90: 1349–1358.
- Sports Performance Catalogue ,2009, www.performbetter.co.uk
- Saša bubanj, ratko stanković, radoslav bubanj, aleksandar dimić, jakob bednarik, edvard kolar, 2010, one-leg vs two-legs vertical jumping performance, *physical education and sport* vol. 8, no 1, pp. 89 – 95
- Schepens. b , p. A. Willems and g. A. Cavagna. 1998, the mechanics of running in children. *Journal of physiology* 509.3, pp. 927—940
- Scholz .m. N, m. F. Bobbert, a. J. Van soest, j. R. Clark and j. Van heerden. 2008. Running biomechanics: shorter heels, better economy. *the journal of experimental biology* 211, 3266–3271 published by the company of biologists
- Saunders .p. U, r. D. Telford, d. B. Pyne, r. B. Cunningham, c. J. Gore, a. G. Hahn, and j. A. Hawley. 2004. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J appl physiol* 96:931–937,
- Sasaki, k. And neptune, r. R. 2006. Muscle mechanical work and elastic energy utilization during walking and running near the preferred gait transition speed. *Gait & posture* 23. 383–390
- Siérovich Pier luigi morera 2005. interval training for the development of specific resistance in soccer. *international journal of soccer and science* vol. 3 no 1, 3(1), 39–49
- Seth wright and peter g. Weyand .the application of ground force explains the energetic cost of running backward and forward. 2001. *The journal of experimental biology* 204, 1805–1815
- Sergej m. Ostojić . 2000. Physical and physiological characteristics of elite serbian soccer players. *Physical education and sport* vol. 1. No 7. pp. 23 – 29.
- Stølen Tomas, Karim Chamari, Carlo Castagna and Ulrik Wisløff. 2005. Physiology of soccer: An Update. *Sports Med.* 35 (6).
- Spurrs R. w. æ aron j. Murphy. mark l. Watsford. 2003 .the effect of plyometric training on distance running performance. *Eur j appl physiol* 89: 1–7

- Theophilos Piliandis, Hellen Marigli, Hellen Douda, Nikolaos Mantzouranis, Ilias Smilios and Savvas Tokmakidis. 2007. Reliability and validity of a modified field test for the evaluation of aerobic performance. *Kinesiology* 39. 2:117-123.
- Tetsuro muraoka,tadashi muramatsu, tetsuo fukunaga, and hiroaki kanehisa,2005 elastic properties of human achilles tendon are correlated to muscle strength: *j appl physiol* 99: 665–669,
- Thomas little and alun g. Williams.2006. Suitability of soccer training drills for endurance training. *Journal of strength and conditioning research*, 20 (2).316–319
- Thomas Little And Alun G. Williams. 2005. Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 76–78
- Toplica stojanović. Radmila kostić.2002. The effects of the plyometric sport training model on the development of the vertical jump of volley ball players. *Physical education and sport*. Vol. 1. No 9. 11 – 25
- Tomas stølen, karim chamari,carlo castagna and ulrik wisløff . 2005. Physiology of soccer .*sports med*; 35 (6): 501-536
- Thomas Horstmann, Frank Mayer, Jens Maschmann, Andreas Niess, Kai Roecker, And Hans-Herrmann Dickhuth. , 2001. Metabolic reaction after concentric and eccentric endurance-exercise of the knee and ankle. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 33, No. 5, pp. 791–795.
- O'Hagan FT, Sale DG, MacDougall JD, et al. 1995. Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med Sci Sports Exerc*; 27: 1210-9
- Pucci AR, Griffin L, Cafarelli E. 2006. Maximal motor unit firing rates during isometric resistance training in men. *Exp Physiol* 91: 171–178.
- Vladan milić. Dragan nejić.radomir kostić.2008. The effect of plyometric training on the explosive strength of leg muscles of volleyball players on single foot and two-foot takeoff jumps. *Physical education and sport*. Vol. 6. No 2. Pp. 169 – 179
- Vladimir mrdakovic, dusko b. Ilic , nenad jankovic, zeljko rajkovic and djordje stefanovic. 2008. Pre-activity modulation of lower extremity muscles within different types and heights of deep jump. *Journal of sports science and medicine* 7, 269-278
- Vassilis Paschalis, Michalis g. Nikolaidis, Anastasios a. Theodorou George Panayiotou , Ioannis g. Fatouros, Yiannis Koutedakis and Athanasios z. Jamurtas.2011. A Weekly Bout of Eccentric Exercise Is Sufficient to Induce Health-Promoting Effects. *Medicine & science in sports & exercise* .Vol. 43, No. 1, pp. 64–73, 2011.
- Wagner pd. 1996. Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu rev physiol*;58:21–50.

- Walsh J. H., William Bilsborough, Andrew Maiorana, Matthew Best, Gerard J. O'Driscoll, Roger R. Taylor, and Daniel J. Green. 2003. Exercise training improves conduit vessel function in patients with coronary artery disease. *J Appl Physiol* 95: 20–25.
- Wilson, G.J., R.U. Newton, A.J. Murphy, And B.J. Humphries. 1993. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1279–1286.
- Williams c, reid rm, coutts r. 1973. observation on the aerobic power of university rugby players and professional soccer players. *Br j sports med*; 7: 390-1
- Wisløff u, c castagna, j helgerud, r jones, j hoff. 2004. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Sports med.* 38:285–288
- Wanxiang Yao Andrew J. Fuglevand, And Roger M. Enoka. 2000. Motor-Unit Synchronization Increases EMG Amplitude and Decreases Force Steadiness of Simulated Contractions. *J. Neurophysiol.* 83: 441–452,
- Wright. S and Weyand. P. G. 2001. The application of ground force explains the energetic cost of running backward and forward. *The Journal of Experimental Biology* 204, 1805–1815
- Whitehead N.P, Weerakkody N.S, J E Gregory, D L Morgan and U Proske. 2001. Changes in passive tension of muscle in humans and animals after eccentric exercise. *Journal of Physiology* 533, 593–604.
- Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ. 2001. Specificity of sprint and agility training methods. *J Strength Cond Res*; 15: 315–319
- Yudai takarada, yuichi hirano, yusuke ishige, and naokata ishii. 1997. Stretch-induced enhancement of mechanical power output in human multijoint exercise with countermovement. *J appl physiol* 83:1749-1755.
- Zhang Ying, yang hu, fanyang zhou, zhaowei kong. 2005. Effects of living high, training low on the immune function of red blood cells and on endurance performance in soccer players. *j exerc sci fit*, vol 3, no 2